



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION Y PROSPECCION DE MINAS

Programa de Doctorado: Minería, obra civil y medio ambiente

# LA ALÚMINA EN LA ILUSTRACIÓN

Plácido García Pérez



## **UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACION Y PROSPECCION DE MINAS

Programa de Doctorado: Minería, obra civil y medio ambiente

# **LA ALÚMINA EN LA ILUSTRACIÓN**

Tesis Doctoral

Plácido García Pérez

Dirección: Dr. D. Jorge Loredó Pérez

Dr. D. Angel Toca Otero



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Vicerrectorado  
de Internacionalización y Postgrado



CENTRO INTERNACIONAL  
DE POSTGRADO  
CAMPUS DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

1720, which includes a method of extracting alumina by adding an alkali to an aqueous solution of alum. This process was known much earlier and because of it alumina was known as *alum's earth*.

Although the period of study of this thesis is the Enlightenment, it fills a gap in the historiography of the alumina before Deville, clarifying the transition from *alum's earth*, a product from laboratory, to Deville's alumina from bauxite, an industrial product.

French historiography of alumina passes directly from *alum's earth* to the bauxite's alumina, not like German historiography, which even in its current vocabulary retains the *tonerde* name (earth of clay) for alumina. This name dates back to the early eighteenth century, when Pott and Marggraf obtained alumina at a laboratory scale with clay and sulfuric acid and baptized it as *tonerde*.

This thesis confirms that an industrial manufacturing process of alumina from clay, sulfuric acid and soda, was developed in England in the early nineteenth century, associated with calico printing.

The thesis also examines the reasons during the Enlightenment that led to this process and provides arguments to claim the History of Technology in Schools of Engineering.

A Emilio Abella, maestro en la fundición del aluminio y en la fabricación del sulfato de alúmina

A todos los que fabrican alúmina o la transforman en las industrias química, cerámica, refractaria, papelera, farmacéutica, de tratamiento de aguas, de abrasivos, de pigmentos, etc. y en especial a los de la industria del aluminio desde la electrolisis a la fundición y la forja

A Didac, Mateo, Olaya, Gabriela y Javier

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>3</b>
<b>PROLOGO</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>9</b>
<b>PLANTEAMIENTO</b>	<b>16</b>
ALCANCE	16
OBJETIVOS	17
ESTRUCTURA	19
<b>CONTEXTO</b>	<b>22</b>
PREHISTÓRICO	23
HISTÓRICO	30
<b>PRIMERA PARTE: RECURSOS DE ALUMINA EN 1683</b>	<b>39</b>
RECURSOS INTELECTUALES	40
Georg Ernst Stahl (1659-1734)	40
Enseñanza e Investigación	46
Química	50
Fundamentos	51
Química clásica	52
Física	56
Otros recursos intelectuales	58
RECURSOS MATERIALES	60
Sistemas de alumbre	64
Materias primas	67
Recursos energéticos	70
Otros recursos materiales	74
<b>SEGUNDA PARTE: PROCESOS DE DESARROLLO DE LA ALUMINA EN LA ILUSTRACIÓN</b>	<b>75</b>
PROCESOS INDUSTRIALES	75
Energéticos	76
Minero-metalúrgicos	81
Químicos	85
Textiles	90
Otros procesos industriales	93
PROCESOS CIENTIFICOS	98
Físicos	99
Químicos	102
Nuevos metales y elementos	103
Nombres y símbolos	109

Química neumática	113
Afinidad	116
Otros procesos científicos	119
Sir Humphry Davy	122
<b>TERCERA PARTE: SISTEMAS DE ALUMINA EN LA ILUSTRACIÓN</b>	<b>124</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>137</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>143</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>150</b>

## AGRADECIMIENTOS

Ninguna tesis es solo del autor. En mi caso los agradecimientos se remontan a Noviembre de 2004 cuando comentando al profesor Loredó mi intención de escribir una historia de la alúmina, me animó a preparar una tesis. Después Pedro Campos, profesor de la Universidad de Rioja y entusiasta de la Historia de la Química, me puso en contacto con Agustí Nieto, Jefe del Departamento de Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona, quien me ofreció los recursos on-line de su Master de Historia de la Ciencia para irme adentrando en ese mundo nuevo.

Nieto sugeriría al profesor Toca como Director de Tesis con quien entré en contacto en el otoño de 2006. También entré en contacto entonces con José Ramón Bertomeu quien me regaló una copia de la *Historia del alumbre* de Charles Singer y también me orientó en aquellos inicios. En Octubre de 2007 - en el XII Congreso de los Ingenieros de Minas celebrado en Oviedo - animado otra vez por Jorge Loredó, presenté el artículo "*La alúmina en los siglos XVIII y XIX*" artículo que fue el germen de la tesis.

Mi hijo Diego, en aquella época profesor de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, me facilitó el acceso remoto a los recursos electrónicos de su biblioteca lo que resolvió definitivamente mis necesidades de información básica.

Después de tanto tiempo me resulta difícil recordar a todas las personas a las que me siento agradecido. Debo destacar a los profesores Loredó y Toca que con infinita paciencia mantuvieron mi interés por la tesis y me guiaron durante el manuscrito.

Una mención especial merecen Carlos Fdez. Calzada, compañero de fatigas laborales muchos años que comentó mi artículo de 2007 y siguió animándome hasta el final y Antonio Marqués Sierra, compañero de fatigas doctorales, que me ayudó y compartió algunas dificultades durante el manuscrito.

Del resto me limito a mencionar a unos pocos con la excusa de que no puedo acordarme de todos y con la certeza de que todos son un recuerdo entrañable de esta tesis, que ya se me antoja un tanto extraña: Victor Alvarez Antuña, David Alvargonzález, Miguel Arbizu, José R. Bertomeu, José Carrasco, Carlos Conde, Luis G. Corretgé, Benjamín Dugnol, Fernando Edrosa, Adolfo Fernández, Emilio Galán, Bárbara García, Noelia García, Rocío García, Serafina García, Jesús García Iglesias, Olga García Moreno, Fathi Habashi, Roger Hedge, Yayoi Kawamura, Mi G. Kim, Joaquín Martínez, José Antonio Martínez, Salvador Mirete, Germán Ojeda, Marina A. Pak, Fernando Pastor, Fernando Pendás, Agustín P. Pieren, José Rguez. Guerrero, Luis Rguez.Terente, José P. Sancho, Isidoro Vaquero, Luis F. Verdeja, Till Weidner, &c.

Y sería injusto no reconocer las horas que esta tesis hurtó a mis obligaciones matrimoniales, lo que me ha producido una deuda con mi mujer que no va a saldar esta dedicatoria.

En cualquier caso, a todos muchas gracias.



## PROLOGO

Cervantes en su prólogo del Quijote recomienda - para escribir una historia - citar libros y autores y poner notas al margen, inventando sentencias en latín o copiándolas de las sagradas escrituras o de autores romanos:

*Y con estos latinicos y otros tales os tendrán siquiera por gramático, que el serlo no es de poca honra y provecho el día de hoy.*

---

Para las anotaciones al final del libro sugiere un catálogo de relatos bíblicos, historias patrias, leyendas populares y libros clásicos:

*Cuando no sirva de otra cosa, por lo menos servirá aquel largo catálogo de autores a dar de improviso autoridad al libro.*

---

Según algún estudioso esta falsa erudición es una crítica velada a su rival Lope de Vega, que - bastante más joven que él - ya era un autor renombrado. Pero su recomendación final es honesta y preludia el gran éxito que le esperaba:

*Procurad también que, leyendo vuestra historia, el melancólico se mueva a risa, el risueño la acreciente, el simple no se enfade, el discreto se admire de la invención, el grave no la desprecie, ni el prudente deje de alabarla.*

---

Esta tesis ha llevado la mira puesta en rescatar la historia de la alúmina en el siglo XVIII - de la que pocos historiadores quisieron acordarse - y a su autor también le interesa más que los que la lean no dejen de alabarla. A tal efecto, conviene advertir que el autor se ha puesto en el tiempo que describe para intentar hacer mejor su relato.

Por ello se encontrarán algunos nombres científicos obsoletos como *sulfato de alúmina*, que las Reglas de Nomenclatura de la IUPAC recomiendan evitar en cualquier circunstancia. En la Ilustración

resultaría anacrónico mencionar el aluminio, pues su nombre fue desconocido prácticamente hasta bien avanzado el Romanticismo, por lo que en la tesis se dirá sulfato de alúmina y así con todas las sales de aluminio.

Por otra parte, discrepancias lingüísticas son normales – dentro de un mismo tiempo - entre Letras y Ciencias, Academia e Industria, Ciencia y Técnica, Ingeniería Química y Minera, etc., cuyos preámbulos no son siempre coincidentes. Por ello se han tratado de conciliar los distintos enfoques que se han manejado, para un más amplio entendimiento de las razones de ser de la alúmina en la Ilustración, que es lo que en definitiva interesa.

A este fin también se recurrirá - cuando ello pueda facilitar la inteligencia del discurso histórico – a los conocimientos actuales, que no son estrictamente pertinentes para dicho discurso.

La polarización profesional del autor hace que esta historia sea más de ciencia, industria y técnica minera, lo que podría explicar el comienzo con una cita del Quijote, cita justificada también por celebrarse este año su IV Centenario. Se podría añadir para completar la justificación - excusando el agravio comparativo – las coincidentes circunstancias personales del autor con las de Cervantes en 1615, quien tenía ya sesenta y ocho años y su obra no pudo mejorar su hacienda.

El alumbre, sulfato doble de aluminio y potasio, fue usado por sumerios, egipcios, griegos y romanos en el curtido de pieles, el tinte de los tejidos, la purificación del agua, en medicina, higiene, para hacer ignífuga la madera, etc. La alúmina entonces no tenía identidad propia y su uso era en forma de alumbre del que era el principio activo. La materia prima inicial del alumbre fue la *pedra de alumbre*, un nombre ambiguo que hoy se identifica principalmente con la *alunita*, el alumbre mineral o natural. Resulta difícil identificar en los escritos clásicos si se habla del alumbre natural, del artificial o de la alúmina, pero en la Edad Media europea la alúmina ya era conocida como la *tierra del alumbre*.

La Revolución Científica iniciada en Europa durante los siglos XVI XVII fue precursora de la Revolución Química del XVIII y la alúmina fue un producto de esta revolución, que aportó una forma nueva de ver la materia y explicar sus transformaciones. En la Ilustración la *tierra del alumbre* empezó a llamarse *alúmina* y se pudo confirmar su composición, era el óxido de un metal, aunque quedara pendiente de aislar el metal contenido en ella. Por otra parte los distintos procesos de fabricación de alumbre existentes empezaron a entenderse y ello dio lugar a su desarrollo industrial.

La Revolución Industrial - asociada en la Ilustración principalmente al uso del carbón y el vapor de agua - impulsó la mecanización de la industria textil, lo que supuso un incremento extraordinario de la demanda de alumbre y demás productos químicos empleados en el blanqueo y la coloración de las telas. Esta demanda independizaría a la alúmina de la industria del alumbre.

Esa independencia no duró mucho pues a mediados del siglo XIX la alúmina pasó a depender del aluminio. Su uso como materia prima para fabricación de aluminio pronto superaría todos los usos en el resto de aplicaciones, hasta llegar a 2014 en el que sólo el 6% de la alúmina fabricada se dedica a los fines antiguos, no metalúrgicos.

El alumbre ha dado lugar a una historiografía abundante, desde las primeras monografías de C. Singer (1948) y J. Delumeau (1962), a las más recientes de Franco Silva (1996), J. Dézsy (1998), E. Cooper y S. Mirete (2001), Ruiz Martin (2005), Borgard et al (2005), Hernández Ortiz (2009).

También el aluminio ha dado lugar a la publicación de numerosos intentos de sistematizar su historia, de los que hay que mencionar la labor que lleva a cabo el *Institut d'Histoire de l'Aluminium* continuador en París del interés por la historia de la antigua empresa francesa Aluminium Pechiney.

Pero el interés por la historia de la alúmina se ha visto ocultado por el de su antecesor el alumbre y el de su sucesor el aluminio y se puede decir que , salvo el interés del historiador alemán Hermann Kopp (1817-1892) - que en su Historia de la Química le dedica un capítulo

exhaustivo a *la tierra del alumbre* - la historia de la alúmina antes de 1859, no ha merecido la atención de los historiadores.

Esta tesis viene a cubrir este vacío recopilando los hitos fundamentales de la historia de la alúmina en la Ilustración. Además ha confirmado la existencia de sistemas de producción industrial de alúmina a partir de ácido sulfúrico y arcilla a finales de los años 1820, cuarenta años antes del proceso de Le Chatelier y Deville de 1859, considerado por la escasa historiografía actual como el primer proceso industrial de fabricación de alúmina.

# INTRODUCCION

En diccionarios académicos se encuentran las siguientes definiciones de alúmina:

- Un sólido blanco constituyente principal de las arcillas y otras rocas, que se encuentra cristalizado en el corindón, zafiro y otros minerales (Oxford University).
- Óxido de aluminio que se halla algunas veces puro y cristalizado y, por lo común formando los feldespatos y las arcillas (DLE).
- Óxido o hidróxido de aluminio. Forma parte de ciertas piedras preciosas como el rubí, el zafiro, el topacio. La arcilla es un silicato de alúmina hidratado (Academie Française).

Estas definiciones se refieren a las formas naturales de la alúmina y no deja de ser sorprendente que no mencionen ni el origen ni las aplicaciones de la alúmina industrial. Esta tesis se refiere a la alúmina industrial y en la Enciclopedia Britannica se encuentra la siguiente definición:

- Una sustancia cristalina blanca que se extrae de la bauxita y se usa para producir aluminio (Encyclopaedia Britannica).

La alúmina se puede considerar una sustancia, pero es más bien un producto mineral que se extrae de más recursos que la bauxita y se usa para más fines que la producción de aluminio. No obstante, esta definición se ajusta mucho más a esta tesis que las anteriores.

Resulta más curiosa la comparación de las definiciones de alumbre y alúmina en la última edición del DLE:

**Alumbre** Del lat.*alūmen*, -*īnis*.

1. m. Sulfato de alúmina y potasa que se halla en algunas rocas y tierras y que se emplea para aclarar aguas turbias, como mordiente en tintorería y como astringente en Medicina.

**Alúmina** Del lat.*alūmen*, -*īnis*.

1. *f. Quím.* Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza algunas veces puro y cristalizado, y por lo común formando, en combinación con la sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.

Ambas definiciones son precisas en cuanto a la composición química, aunque la designación *sulfato de alúmina y potasa* sea obsoleta. En cuanto al origen en el caso del alumbre es impreciso y en el caso de la alúmina ignora a la bauxita. Pero se puede afirmar que un error importante es no indicar que la alúmina se emplea para fabricar aluminio, aunque es cierto que esta aplicación es 150 años más reciente que la propia RAE que empezó a funcionar en 1713. Esta definición de alúmina es coherente con su inclusión inicial en el repertorio de la Química. Se podría inferir que la definición de *alumbre* la ha hecho un ingeniero de minas y la de *alúmina* un ingeniero químico.

Por otra parte el nombre *alúmina* no existe ni en las listas de compuestos químicos de la IUPAC ni en las listas de minerales de la IMA, porque la alúmina no es ni un compuesto químico, ni un mineral. La alúmina es un producto industrial y/o mineral que en la Ilustración se extraía del alumbre en forma de óxido hidratado, que no era su forma normal de uso, pues el más habitual fue en forma de sulfato hasta comienzos del siglo XIX.

La calcinación de la alúmina hidratada producía el óxido de aluminio, cuyas aplicaciones eran muy escasas en la Ilustración. Habría que precisar que el corindón, forma natural del óxido de aluminio ya se utilizaba en China entre 4.000-3.500 a.C. (Lu P.J. et al 2005). Es de suponer que las variedades gema del corindón - rubí, zafiro, jacinto, etc. - se las conociera también en la Antigüedad. Una referencia antigua se encuentra en la Biblia, de tiempos del rey Salomón (siglo X a. C.): “*Ella (la sabiduría) es más hermosa que los rubíes* (Proverbios, 3,15 y 8, 11)”. Pero estas formas naturales de la alúmina no se relacionaron con el alumbre hasta el final de la Ilustración, como se verá más adelante.

La figura 1 son fotos de alúmina hidratada, hidrato de aluminio, hidróxido de aluminio o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  a 50 y 500 aumentos.

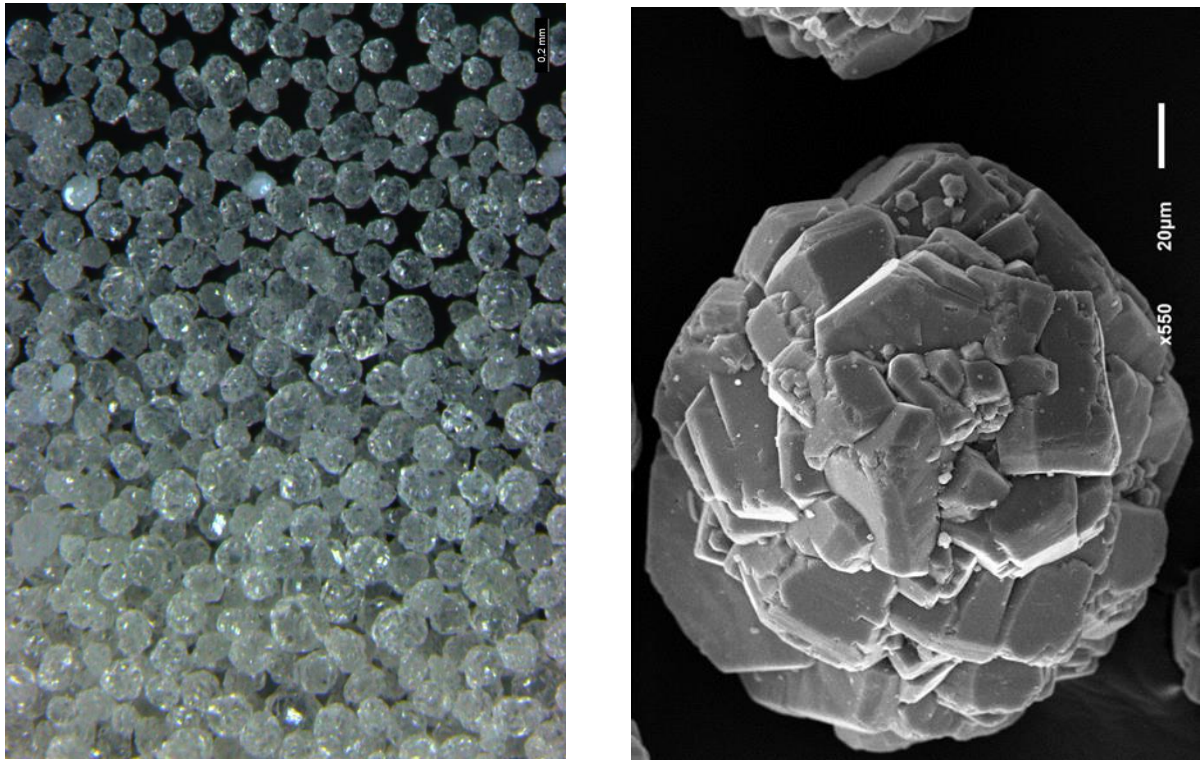
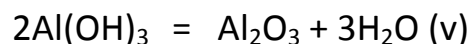


Fig. 1 ALUMINA HIDRATADA  $\text{Al}(\text{OH})_3$

Stahl ya describía en 1683 el modo de obtención de la alúmina hidratada en el Laboratorio, aunque estrictamente hablando – como se explicará más adelante - Stahl describe la formación de un gel. La alúmina hidratada de la Fig. 1 tiene una morfología granular, pero se puede obviar este hecho aquí a efectos de destacar las diferencia morfológicas de esta alúmina hidratada con la anhidra.

La eliminación del agua se hacía con calor y con lenguaje contemporáneo el secado se expresa hoy así:



La figura 2 es el óxido de aluminio, alúmina anhidra, alúmina calcinada o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  también a 50 y 500 aumentos. Aunque químicamente sean equivalentes y macroscópicamente solo se distinguen en que una

es “arenosa” y la otra “harinosa”, microscópicamente son muy distintas.

Ambas muestras proceden de la fábrica de alúmina de San Ciprián (Lugo) donde la calcinación se hace en un horno de lecho fluido a 1000 °C. Los granos de hidrato estallan en el horno y su estructura cristalina desaparece incluso a 500 X.

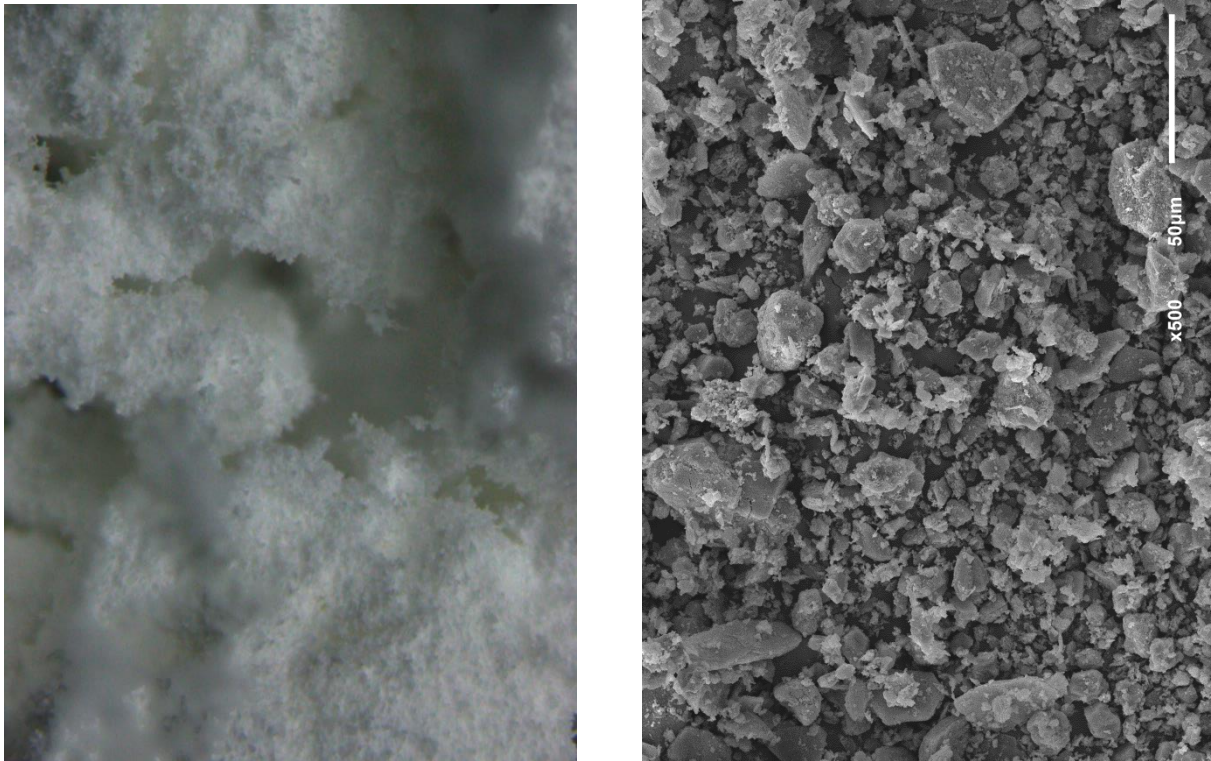


Fig. 2 ALUMINA CALCINADA  $Al_2O_3$

Esta diferencia cristalográfica se resalta en este momento porque permite entender mejor que - tratándose de dos compuestos que solo se distinguen en el contenido de agua - su aspecto microscópico es radicalmente distinto. Esta diferencia no se pudo conocer con la incipiente cristalografía de la Ilustración, pero si se sabía que las propiedades químicas de la alúmina hidratada eran distintas que las de la calcinada. La tecnología reciente ha permitido clasificar industrialmente esa alúmina calcinada y convertir a las fracciones de menor tamaño en objetos nanotecnológicos, pero esto es impertinente en esta historia.



La diferencia en la materialidad de las dos alúminas no es reconocida suficientemente, incluso por el personal ilustrado del siglo XXI, lo que da pie para la siguiente anécdota. A propósito de las muestras anteriores surgió en una charla con el Jefe de Laboratorio de Alcoa-San Ciprián la cuestión “qué es la alúmina” y su respuesta fue rotunda: el óxido de aluminio. La siguiente cuestión, “hidratado o calcinado”, quedó sin responder, porque tan alúmina es una como la otra.

Sir Humphry Davy bautizó al aluminio en 1808 pero - quizá deslumbrado por sus descubrimientos - no mencionó el origen de la alúmina que empleó en sus ensayos y la historiografía del aluminio se suele detener ahí. En cambio, como ya se ha dicho, la alúmina era conocida desde la antigüedad, aunque su uso como tal óxido fuera muy reducido. Su uso principal fue en forma de sales de las cuales el sulfato doble de aluminio y potasio fue la más común.

Otra sal de alúmina muy utilizada en estado natural por el hombre fue el silicato de alúmina, la arcilla, aunque esta no era soluble en agua, como el alumbre, pero la pérdida de su agua molecular producía una transformación que para muchos es considerada la primera transformación química, es decir, que la primera industria química sería la cerámica. Por su parte, Charles Singer subtituló su historia del alumbre, como “*The earliest chemical industry*”.

En la Ilustración se bautizó la alúmina a partir del nombre latino del alumbre. Hasta este momento la historia de la alúmina estuvo camuflada en la historia del alumbre y posteriormente será la historia del aluminio la que camufle a la historia de la alúmina.

Esta tesis investiga las razones de ser la alúmina en la Ilustración y sus sistemas de fabricación antes de Davy en Europa, partiendo del método de fabricación de alúmina a escala de laboratorio recogido en un libro de texto de Georg E. Stahl de 1683.

Todas las industrias donde se empleaba el alumbre fueron determinantes en la producción de alúmina, pero el impulso final vendría de la del coloreado de tejidos, cuyo desarrollo explosivo en Inglaterra brindó oportunidades de negocio en la búsqueda de

alternativas a los mordientes clásicos a base de alumbre y otras sales de alúmina. Una alternativa al alumbre la proporcionó el sulfato de aluminio obtenido a partir de sulfúrico y arcilla. Y una solución de sulfato de aluminio se podía descomponer con sosa, lo que producía alúmina hidratada. Esta forma de alúmina permitía fabricar con costes más económicos otros mordientes, por reacción directa de la alúmina con los ácidos correspondientes, como fue el caso del *acetato de alúmina*. Este proceso fue consecuencia de muchos desarrollos técnicos y científicos que culminarían industrialmente durante el primer cuarto del siglo XIX.

La síntesis de alúmina a partir de sulfúrico, arcilla y sosa convertiría definitivamente a la tierra del alumbre barroca en la alúmina romántica. El objetivo principal de esta tesis es documentar este tránsito en los 125 años que van desde 1683 - fecha en que Georg E. Stahl da una clase de Química donde explica como extraer la tierra del alumbre - hasta 1808, cuando Humphry Davy expone los resultados de sus experimentos de electrolisis de la alúmina.

La obtención de alúmina a partir de arcilla se consolidaría industrialmente en los años 20 del siglo XIX en la nueva industria química escocesa, que suministraba productos para el blanqueado y coloreado de la pujante industria textil inglesa.

El aluminio fue bautizado en la Exposición Universal de Paris de 1855 - donde rivalizó con las joyas de la Corona - como “la plata de la arcilla”, porque la arcilla era la materia prima de la que se extrajo la alúmina para fabricar este primer aluminio, de uso exclusivo en joyería. Se podría decir que la alúmina era entonces “la tierra de la arcilla”.

Pero en 1859 se empezó a utilizar la bauxita en la obtención de alúmina, lo que desplazaría radicalmente a la arcilla como materia prima. No obstante, la utilización de arcilla para obtención de alúmina duraría hasta bien entrado el siglo XX, como se puede comprobar en la cita extraída de un ejemplar de 1903 de una revista minera española (Rodríguez Mourelo 1903):

*A la tintorería, lacas, papeles pintados, etc. débese el beneficiar los minerales del alumbre y cuantos puedan contenerlo o*

*producirlo , y por ello no sólo se explotan los sulfates dobles que lo constituyen, en estado de cierta pureza, sino que se apela á las arcillas y á su tratamiento por el ácido sulfúrico, empleando métodos muy adelantados, al punto de ser, en el día, el silicato hidratado de aluminio que las constituye, la primera materia que en mayores cantidades es utilizada para la industria del alumbre, ligada á tantas otras que de continuo lo requieren, transformándolo de diversos modos.*

Este proceso ácido cayó en el olvido después de la II Guerra Mundial, pero volvió a considerarse en los años 1970 en la investigación de recursos alternativos a la bauxita ante la amenaza de la creación de un cartel de países exportadores de bauxita, similar a la OPEP formada entonces por los países exportadores de petróleo. Pero dicha amenaza no se confirmó y el proceso básico a partir de bauxita mantiene su pujanza.

No obstante, en el siglo XXI se han desarrollado nuevos procesos de extracción de alúmina a partir de los antiguos recursos de alunita y arcilla, que permiten cuestionar el actual monopolio de la bauxita. Pero eso es otra historia.

## PLANTEAMIENTO

No existen prácticamente historias de la alúmina, en cambio hay muchas historias del aluminio. En todas ellas la historia de la alúmina no suele ser tenida en cuenta y cuando lo es se suele admitir que la alúmina industrial no existía antes del proceso de Le Chatelier-Deville de 1859, o como mucho que fue aislada en el laboratorio por primera vez por Marggraf en 1754.

Esta tesis demuestra que la alúmina industrial ya existió en los años 1820 cuando se fabricaba por un proceso de lixiviación ácida de arcillas seguido de la precipitación de la alúmina con una solución de carbonato de sosa.

### Alcance

#### Alcance material

El objeto material de esta tesis es la tecnología de la alúmina que sirvió para aislar el aluminio, para ello estudia la evolución de los procesos técnicos y científicos relacionados con la alúmina durante la Ilustración. No son objeto de esta tesis ni el alumbre, ni el corindón, ni el esmeril, aunque se mencionen por la relación material que existe entre ellos y el óxido de aluminio, pero no existió entre ellos ninguna relación funcional.

#### Alcance espacial

El alcance espacial de la tesis se reduce a Europa, aunque se mencionen otros continentes. Turquía y Oriente Medio serán la puerta de entrada de la alúmina del alumbre en Europa pero los hechos recogidos en esta tesis se desarrollarán básicamente en Prusia, Francia, Inglaterra, Sajonia y Austria con alguna mención testimonial al resto del territorio que se considera Europa. Lógicamente se incluirá alguna referencia a España, aunque tuvo poco protagonismo en la investigación y desarrollo de la alúmina en la Ilustración.

## Alcance temporal

La Ilustración coincide aproximadamente con el siglo XVIII, pero sus límites son imprecisos. Según la última edición de DLE *Ilustración* es un *Movimiento filosófico y cultural del siglo XVIII, que acentúa el predominio de la razón humana y la creencia en el progreso*. En cada país europeo recibe un nombre distinto: Ilustración, Aufklärung, Enlightenment, Siècle des Lumières, Iluminismo, etc.

En un principio la tesis abarcaba los siglos XVIII y XIX pero finalmente se decidió cubrir solo el siglo XVIII. Por diversas razones se decidió fijar el comienzo con el primer documento escrito encontrado que describía un proceso de fabricación de alúmina. Se trata de los *Fundamenta Chymiae* de Georg Ernst Stahl, un libro publicado en 1730 en Londres, que había sido publicado en latín en 1720 a partir de los apuntes de un curso de Química que impartió Georg E. Stahl en el curso 1683-84 en la Universidad de Jena, Turingia, durante su doctorado en Medicina.

Siendo el objeto de la tesis la alúmina que sirvió para aislar el aluminio se decide terminarla en 1808 año en que Sir Humphry Davy publicó los resultados de sus ensayos de electrolisis acuosa de la alúmina.

## Objetivos

### Buscar las razones de ser de la alúmina en la Ilustración

La alúmina había sido una especie de quimera buscada por los alquimistas, aunque su identidad no se conoció hasta la Ilustración. El objetivo inicial de la tesis fue encontrar los hechos que lograron desvelar su identidad. La expresión “razones de ser” es un galicismo adecuado a la Ilustración, periodo que “acentúa el predominio de la razón humana”, cuestión discutible porque la Razón, la facultad de discurrir, que brilló por su ausencia en muchas sinrazones y faltas de discernimiento que se dieron durante la Ilustración europea.

### Identificar los sistemas de fabricación de la alúmina en el siglo XVIII.

Este objetivo solo se consideró definitivamente en la recta final de la redacción del manuscrito cuando se encontró documentación acreditativa de procesos industriales de producción de alúmina en la Ilustración. Pero procesos industriales y sistemas de fabricación no son sinónimos y el calificativo industrial puede resultar demasiado ambicioso cuando la 1ª Revolución Industrial se suele admitir que empieza en la década de 1760. En este periodo tampoco se puede hablar todavía de Industria del carbón y del acero propiamente dicha. Las industrias que reciben con propiedad tal nombre en la Ilustración son las industrias relacionadas con la máquina de vapor como nueva forma de energía, y el principal campo experimental de esta nueva maquinaria se desarrolló en la industria textil.

Todas las especialidades de la industria textil que hasta la Ilustración eran artesanas, el hilado, el tejido y el tinte principalmente, fueron mecanizadas primero en la Ilustración Inglesa y es en esta industria, en concreto en el blanqueado y coloreado, donde la alúmina va a empezar a ser objeto de producción industrial, en especial, para los estampados de indianas donde las necesidades de nuevos mordientes le dieron protagonismo a la recientemente bautizada alúmina y a sus diferentes sales empleadas como mordientes en el tinte, frente al todopoderoso alumbre, extraído en Inglaterra de pizarras de alumbre.

### Reivindicar la historia en la docencia de la Ingeniería.

Este objetivo también fue un objetivo primordial y se discutió finalmente si su alcance debería restringirse al dominio de la Ingeniería de Minas y aún más al de la Escuela de Oviedo. A pesar de la gran diferencia que existe en el tratamiento de la historia de la tecnología en las universidades españolas y en cada una de ellas entre sus distintos departamentos o institutos, este objetivo tiene un indudable alcance general referido a la Universidad española si se la compara con la Universidad francesa, sin ir más lejos.

El aprecio por la historia industrial va una generación por delante en el país galo y aún más en Inglaterra, Alemania e incluso Italia y Portugal. Parece que el “que inventen los demás” unamuniano tuviera vigor todavía hoy día en la Historia de la Tecnología en las Escuelas Técnicas. No obstante la creciente consideración social hacia el

patrimonio industrial, si que tiene reflejo en la universidad española y se aprovecha esta tesis para reivindicar esa consideración para la Historia de la Tecnología en las Escuelas de Ingeniería de la Universidad de Oviedo.

## Estructura

La historia del alumbre fué la primera fuente bibliográfica de esta tesis que permitió contextualizar los conocimientos sobre la alúmina adquiridos durante la Ilustración, con los conocimientos acumulados desde la antigüedad. Michel Angel en Cahiers d’Histoire de l’Aluminium (Angel M. 1988, 7-14) califica al alumbre como el “patriarca” de la familia alúmina-aluminio. En un principio se pensó en una estructura que siguiese la línea genealógica alumbre-alúmina-aluminio, con un enfoque similar al modelo de la Ciencia de los Materiales (Fig. 1): Composición, Estructura, Propiedades, Procesado, Comportamiento.

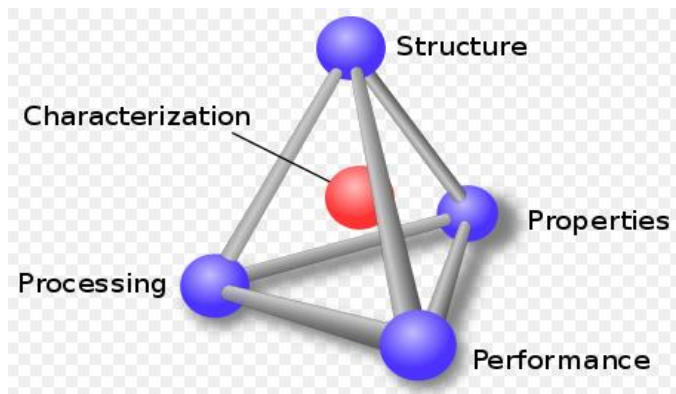


Fig. 3 Paradigma de la Ciencia de los Materiales

Siguiendo la opinión de David Alvargonzález, Profesor de Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Oviedo, esta estructura es válida para cualquier Manual de Tecnología, pero no para una tesis de Historia de la Tecnología; entre otras razones porque los campos elegidos no están clasificados y ordenados, carecen de categorías. La obra completa de Aristóteles fue clasificada por sus primeros especialistas colocando en primer lugar la obra *KA PER KATEGORION (Sobre las categorías)*. Plinio estructura su Historia Universal como una enciclopedia, lo mismo que hace Isidoro de Sevilla con sus Etimologías y Diderot y D’Alambert que ordenan alfabéticamente sus conocimientos. Linneo ampliará los criterios clasificatorios, y su papel como “ordenador” y “clasificador” del reino animal será muy influyente posteriormente.

El profesor Alvargonzález sugirió estructurar el núcleo de la tesis en: Materiales, Procesos y Sistemas y también recomendó incluir antes

un capítulo explicando los contextos históricos que enmarcaban la tesis. El capítulo Materiales se renombró como Recursos, de más tradición en Ingeniería de Minas y la estructura RECURSOS, PROCESOS, SISTEMAS fue la adoptada:

- La Primera Parte RECURSOS recoge los materiales y conceptos disponibles en 1683. Parafraseando a Gustavo Bueno en su prólogo a la obra de Gracia Noriega (2008), esta parte es una "*Obertura alquimico-minera*" que recoge la multitud de materiales y conceptos pragmáticos minerales y alquímicos - perfectamente establecidos en 1683 y que constituían la perspectiva antrópica tecno-minera de la alúmina, procedente de las bandas humanas de cazadores-recolectores.
- La Segunda Parte PROCESOS recoge los desarrollos de los RECURSOS anteriores logrados durante la Ilustración, mediante nuevos materiales y conceptos teóricos, que permitirán una nueva perspectiva antrópica minero-química de la alúmina.
- La Tercera Parte SISTEMAS recoge los sistemas de fabricación de alúmina - propiamente dichos - usados en las proximidades de 1808.

La selección de los contenidos de cada parte fue - aún al final del manuscrito - objeto de debate. Durante la preparación de la tesis se habían explorado los RECURSOS aportados por la historia de la Química y la historia del alumbre, pero con un enfoque muy amplio. De esta manera se había recopilado una gran cantidad de información práctica relacionada con el alumbre que se remontaba a la Prehistoria y unos conocimientos teóricos que llegaban la Alquimia bajomedieval, necesarios para poder entender lo que ocurrió en la Ilustración pero excesivos para los objetivos de la tesis.

Lo mismo ocurrió con la acumulación de conocimientos de Filosofía Natural y otras disciplinas anteriores a la Ilustración, que estaban relacionados de alguna manera con el alumbre y la alúmina. También se había acumulado mucha información - necesaria para la



elaboración de la tesis - pero excesiva y fuera de sus objetivos a la hora de redactar el manuscrito.

También hubo que descartar gran parte de la información acumulada sobre los PROCESOS teóricos y prácticos - que desarrollaron los recursos de partida - para poder presentar de forma comprensible las razones de ser de la alúmina en la Ilustrada, encontradas en el rastreo de la información acumulada.

También es útil recurrir a la filosofía griega como respaldo a esta cuestión sobre la selección de información. Platón explica su Principio de Discontinuidad o *Symploké* con dos postulados<sup>1</sup>:

*Si nada estuviese relacionado con nada,  
no se podría conocer nada.*

*Si todo estuviese relacionado con todo,  
tampoco se podría conocer nada.*

El Principio puede considerarse una obviedad, pero su aplicación práctica para conseguir darle forma a la cantidad de datos acumulados antes de la redacción del manuscrito, demostró lo contrario.

---

<sup>1</sup> Se recomienda el video <https://www.youtube.com/watch?v=ILZbBTpsbv8> con una breve disertación del filósofo Gustavo Bueno sobre el Principio de Discontinuidad de Platón.

## CONTEXTO

En este capítulo se hace una descripción del contexto tecnológico que precedió y sucedió a la alúmina en la Ilustración, que se divide en dos partes:

Prehistórico: desde hace 4 millones de años hasta 5.000

Histórico: desde hace 5.000 años hasta hoy.

Inicialmente se consideró la inclusión de un capítulo dedicado al origen geológico, que recogiera la génesis de las rocas y minerales empleadas en la fabricación de alúmina, con alguna referencia incluso al origen cósmico precedente.

En este punto se considera interesante mencionar el Proyecto Big History, iniciado por el profesor australiano-americano David Christian en 1989. Es una nueva visión de la Historia consistente en una integración de antropología, biología, geología y cosmología para analizar la evolución mineral, biológica y antropológica desde el inicio del tiempo hasta hoy de cualquier material o proceso históricos.

Este proyecto mereció el apoyo económico en 2011 de la fundación Bill Gates que con el profesor Walter Alvarez de la Universidad de California en Berkeley desarrolló la aplicación informática *ChronoZoom* orientada a la docencia de la geología a través de la WWW. La información de la profesora García Moreno de la Facultad de Geología de Oviedo y sus actividades de divulgación de dicho proyecto, en particular el ciclo de conferencias dedicado a la historia geológica del Valle del Nalón, fueron una valiosa introducción al mismo. Y se avanzó bastante en la exposición de los contextos geológico y cósmico de la alúmina pero finalmente se consideró excesiva la información para los objetivos de la tesis y se prescindió la misma, que pasó a una Lista de Proyectos Fin de Tesis.

Sobre el Proyecto Big History se recomienda la lectura de la obra *“El lugar del hombre en el Cosmos – La Gran Historia y el futuro de la Humanidad* (Spier, 2011). Fred Spier, profesor en las Universidades de

Amsterdam y Eindoven propone una base teórica para el Proyecto con el estudio de la evolución de las diversas formas de complejidad.

Inicialmente también se había considerado la inclusión de un capítulo dedicado al origen antrópico del alumbre que se sustituyó finalmente por el contexto prehistórico que sigue a continuación.

## Prehistórico

<u>Materiales</u>	<u>Miles de años</u>
Alumbre	5
Metales	10
Tejidos	12
Tierras	15
Cerámica	40
Cestería	100
Pieles	250
Fuego	500
Carne	800
Sales	1500
Piedras	3000
Agua	4000

Fig. 4 Materiales de la Prehistoria

En la tabla anterior se puede ver una cronología del contexto prehistórico de la alúmina. Se extiende desde el comienzo del Plioceno, hace algo más de cuatro millones de años, hasta el Antropoceno en que nos encontramos, aunque esta última denominación no haya sido aun oficialmente aceptada por la comunidad científica.

En esta cronología obviamente simplista se presenta una selección de los materiales más representativos de la evolución humana con una fecha asociada que coincide aproximadamente con el inicio de su uso. El comentario de este contexto servirá para bucear sobre el origen antrópico del alumbre, material antecesor de la alúmina, en la Prehistoria. El primer uso del alumbre tuvo que ser relacionado con el curtido de pieles y dado el carácter biodegradable de la piel, la falta de restos materiales hace muy difícil probar dicho primer uso.



Fig. 5 Plioceno en Laetoli, Tanzania. *Mauricio Antón*

El contexto empieza con una referencia al agua que está inspirada en una reciente publicación del ecólogo evolucionista Clive Finlayson (2014,xii) donde argumenta que “*water was a key ingredient in shaping our evolution*”. El agua fue una guía de los primates que abandonaron el bosque en sus travesías por la sabana. El agua también guió a los primeros homínidos en sus migraciones continentales y sigue siendo hoy objetivo de muchos planes de desarrollo social.

En el linaje de la alúmina también está presente el agua permanentemente. El profesor egipcio-canadiense Fathi Habashi considera el Proceso Bayer como pionero de la Hidrometalurgia, lo cual es muestra de la pasión de este autor por la figura de Karl J. Bayer, como se puede constatar en sus referencias bibliográficas de 1988 y 1999.

Pero la Hidromineralurgia, en concreto la relacionada con las sales, fue una de las primeras actividades mineras prehistóricas, muy anterior al empleo de los metales.

La supervivencia de los homínidos en los espacios abiertos fue consolidando el uso de materiales como la madera y se fueron introduciendo otros materiales bióticos y pétreos con los que fabricar sus primeras armas, herramientas, adornos, etc desde la ijada con la que Caín mataría a Abel al principio de la historia bíblica, hasta la variscita de Gavá (Barcelona) empleada hace 8000 años para hacer cuentas de collares neolíticos. La industria lítica en particular, es un registro extraordinario de la evolución humana y además facilita la datación cronológica de los restos arqueológicos.

Pero el agua salada debió suponer algún desafío para los sedientos australopitecos en sus travesías próximas al mar en los inicios del Plioceno. Robert P. Multhauf (1978, 17) afirma que la sal pudo ser el primer narcótico humano y es de pensar que ya se beneficiasen de ella en alguna forma, como hoy hacen los atletas de élite, o como la busca instintivamente el ganado vacuno, o como condimento para dar sabor a alimentos insípidos o como conservante, descubriendo los salazones.

Si el agua fue un ingrediente clave en nuestra evolución, se podría añadir que la incorporación de sal, la dieta con sodio tan denostada hoy, quizá fuera la chispa del especial desarrollo neuronal humano, y la importancia del ión sodio en nuestro sistema neuronal no es necesario resaltarla.

El arqueólogo australiano Gordon Childe (1952:33, 105) dijo que la sal no fue esencial para la dieta de los cazadores recolectores, pero sí lo es para las sociedades agrícolas que aparecen en el sexto milenio a.C. No obstante hay otros usos distintos al alimentario que pudieron poner en contacto hace 1,5 Ma al Homo Erectus u otros linajes con las salmueras.



Fig. 6 Macacos (macaca fuscata) en aguas termales de Nagano

Además de las funciones estimulantes anteriormente citadas se deben referir las aplicaciones socio-termales como ocurre con los macacos de los Alpes Japoneses en la isla de Honshu.

Estos macacos, conocidos como monos de las nieves están considerados como los monos salvajes más inteligentes y sobreviven en un hábitat con temperaturas de  $-15^{\circ}\text{C}$  pasando mucho tiempo en invierno sumergidos en aguas termales.

Quizá alguna especie de nuestros ancestros usaran también estas prácticas de baño en salmueras de alumbre que hubiera permitido un descubrimiento casual del curtido de las pieles con este agente. El problema de esta hipótesis está en la falta de restos de pieles, que en caso de las mejor conservadas no superan los cinco mil años de antigüedad, caso de las momias egipcias. No obstante no parece aventurado suponer que una vez los homínidos supiesen desollar un conejo, la casualidad pudiera haberles llevado a encontrar alguna piel curtida parcialmente por un contacto con salmueras alumbrosas y aún más, con un enfoque de antropología ficción, usarla como bolsa de herramienta donde transportar sus cuchillas y rascadores más difíciles de fabricar y por tanto interesantes de conservar.

La dieta incorporó la carne por carroñeo hace menos de un millón de años y esto consolidaría el uso de materiales bióticos como el hueso y muy probablemente la piel en bruto para equipos de acampada u otras funciones como

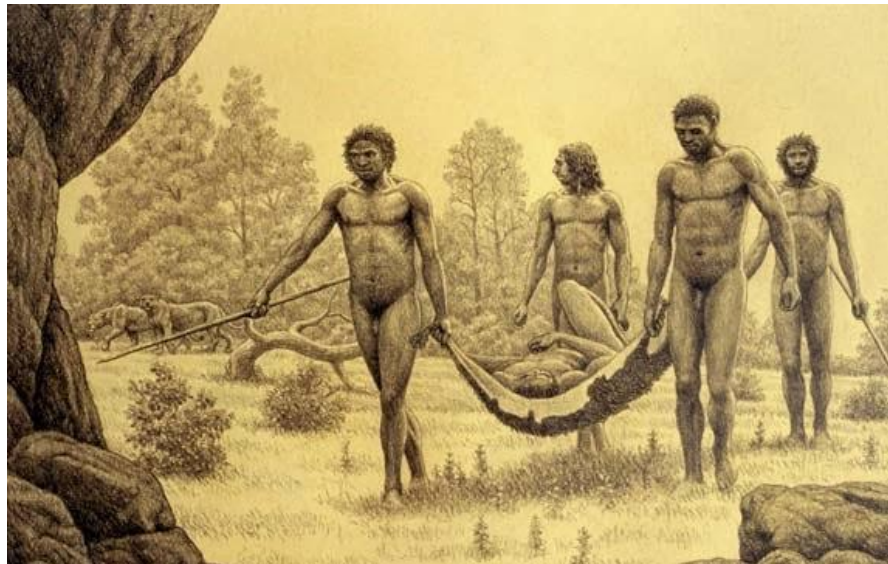


Fig. 7 Recreación de posible rito funerario. E. Carbonell

acreditan recreaciones de los antropólogos de Atapuerca.

El fuego, empezado a dominar hace medio millón de años fué un recurso extraordinario que supuso un cambio fundamental en la vida de los homínidos y particularmente en su dieta, que incrementó la ingesta de carne con el consiguiente aumento de masa cerebral. Eudald Carbonell opina que la luz y el calor del fuego articularon las incipientes comunidades (Carbonell 2002). El origen del uso del fuego es objeto de curiosas mitologías como la griega de Prometeo que roba el fuego a Zeus para dárselo a los hombres, pero será castigado cruelmente por

hacerlo y un águila devorará sus entrañas. La disponibilidad de nuevas formas de energía han supuesto siempre hitos importantes en la evolución, como veremos ocurrió con el carbón y el vapor de agua en la Ilustración.

Belén López, profesora de Antropología Física en la Universidad de Oviedo afirma que, por la evolución de las diferentes especies de piojos humanos, se puede deducir que los primeros abrigo de pieles empezaron a usarse hace 170.000 años y facilitó la referencia periodística (Smith G. 2011) que lo corrobora.

El curtido de pieles pudo ser una fuerza motriz que desarrollara el uso del alumbre en forma de salmueras naturales, investigación que también se ha trasladado a la lista de Proyectos fin de Tesis, pero lo que sí es indudable es que las soluciones de alumbre contienen hidroxilos de alúmina con propiedades particulares cuando reaccionan con el colágeno de la piel durante el curtido.

La utilidad del curtido motivaría ya que sus agentes fueran muy diversos en los principios del uso de las pieles y es de suponer que no solo se empleasen salmueras de alumbre y otras sales, sino que también se emplease materia orgánica de origen animal (sesos), o de origen vegetal (agallas y corteza de árboles) o simplemente por ahumado, por extrapolación de métodos que han llegado hasta nuestros días en diferentes estados de evolución. Pero la verificación de estas hipótesis todavía tardará algún tiempo en llegar.



Fig. 8 Venus de Donis Veltonice

La cestería vegetal pudo servir todavía en el nomadismo para útiles muebles de cocina, cestos revestidos de barro donde se calentaría el agua por introducción de piedras calientes y también útiles de pesca y caza hace 100.000 años. Destacamos este hito técnico por su

relación con el avance muy posterior de los tejidos de fibras vegetales que sustituirán a las pieles en la fabricación de prendas de vestido.

Otro salto tecnológico sería el producido por la cocción del barro y otros componentes con los que se fabricaron las primeras figurillas antropomorfas de usos espirituales. Se pueden citar aquí las Venus de Dolni Vestonice (Chequia), hechas de arcilla y algún otro material como polvo de hueso, auténticos composites, datadas entre 29.000 y 25.000 a.C.

El uso de las tierras y minerales en el arte rupestre también se remonta a la época anterior y las referencias son innecesarias.

Después se encuentran los tejidos de fibras vegetales y animales, que sustituyen a las pieles en el vestido común, que pronto en algún lugar se colorearán de manera más o menos duradera para competir con la naturaleza, operación en la que también estará presente la alúmina, en este caso debidamente confirmada.

En una explicación simplista, la fijación del tinte a las fibras del tejido, ya sean vegetales o animales, es una cuestión de adherencia superficial de los pigmentos de color. El mordentado con alumbre produce un recubrimiento de alúmina sobre la superficie de las fibras perfectamente anclada a ellas. En esta capa de alúmina se depositarán los componentes colorantes de los pigmentos que se adhieren mucho mejor a la alúmina que a las fibras.

Esta explicación del papel de la alúmina en el tinte de los tejidos guarda analogía con el papel de la alúmina en la coloración electrolítica del aluminio metálico, que se explica a continuación por el posible interés en esa búsqueda pendiente de la explicación del papel de la alúmina tanto en el curtido de la piel como en el tinte de los tejidos. En la coloración electrolítica del aluminio el mordentado sería la oxidación superficial del aluminio, producida al introducirlo en una cuba con una solución acuosa de ácido sulfúrico. En ella el aluminio actúa como ánodo y el paso de corriente produce una capa de alúmina superficial perfectamente anclada al metal base. En otra cuba con una solución de iones colorantes, se produce la deposición de dichos iones sobre la anterior capa de alúmina, que quedan atrapados y uniformemente



distribuidos en los huecos de la estructura cristalina hexagonal de la capa de alúmina. La permanencia del color se consigue en este caso sumergiendo el aluminio en otra cuba con agua caliente, lo que produce una hidratación de la alúmina que sellará permanentemente la unión de los iones colorantes con la capa de alúmina.

El desarrollo del barro cocido para aplicaciones materiales tiene que esperar hasta hace 10.000 años en la barrera del Neolítico donde será fundamental en los primeros asentamientos humanos para recipientes y contenedores de agua y alimentos.

Otra aplicación fundamental del barro cocido en esta época son los crisoles metalúrgicos que permitirán extender el uso del cobre, bronce y el hierro que ya corresponden a periodos históricos.

El último hito recogido en este contexto prehistórico culmina las hipotéticas referencias anteriores al uso del alumbre. Nos referimos al inicio documentado del uso del alumbre. Martin Levey (1913-1970) - químico, filólogo e historiador americano de la ciencia - logró descifrar en tablillas de arcilla de Mesopotamia transacciones comerciales de alumbre datadas hace 5000 años (Levey 1937). Obviamente este origen fue precedido por otros hallazgos anteriores en China y el Extremo Oriente, que a su vez habían sido precedidos anterior y/o simultáneamente por otros avances en otros territorios durante las migraciones humanas.

Histórico

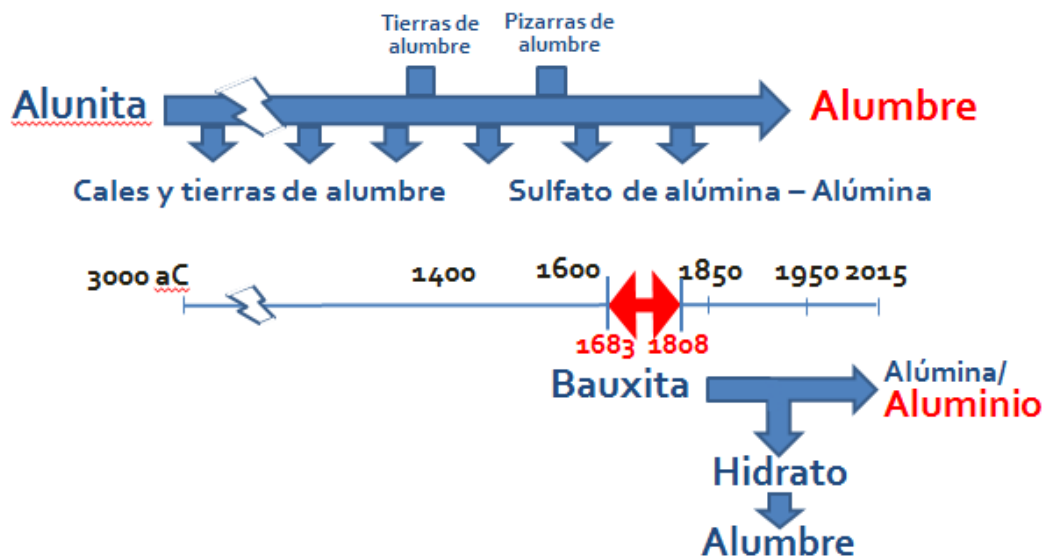


Fig. 9 Contexto histórico de la alúmina

El anterior es un esquema del contexto histórico desde 3000 a.C. hasta la actualidad en el que se marca en rojo el periodo cubierto por esta tesis: 1683-1808.

El diagrama de flujo superior empieza con la alunita en el 3er milenio a.C. y termina con el alumbre en 1950. El diagrama de flujo inferior empieza en 1850 con la bauxita y termina hoy con el aluminio.

Estos dos diagramas resaltan el hecho de que el alumbre fue la fuerza motriz que movió la industria relacionada con la alúmina desde la prehistoria hasta 1850, pero a partir de entonces el aluminio tomó el liderazgo y el alumbre se convirtió en un subproducto. Hoy el aluminio sigue siendo la fuerza motriz de la industria de alúmina - cuya producción se destina a la industria metalúrgica en un 95% - pero el negocio de la alúmina de usos químicos, o no metalúrgica, tiene una tasa de crecimiento muy superior a la del aluminio y sus aplicaciones en la industria cerámica, del papel, agua potable, farmacia, etc - ya usadas en tiempos a. C.- tienen un valor añadido muy superior.

Hasta la Ilustración la alúmina era la *tierra del alumbre* o también la *cal del alumbre*, es decir, el protagonismo correspondía al alumbre, pero la alúmina era su principio activo y este principio no empezó a conocerse hasta la Ilustración. Este descubrimiento, junto con otros muchos, liderará el cambio del sistema económico ALUNITA-ALUMBRE por el BAUXITA-ALUMINIO y este cambio se lleva a cabo en Europa inmediatamente después de la Ilustración. Un elemento presente en ambos sistemas es la alúmina y por ello el estudio de las razones de ser de la alúmina y sus sistemas de fabricación en el siglo XVIII permitirá entender mejor el importante cambio industrial ALUMBRE-ALUMINIO.

El alumbre debió empezar a utilizarse como salmuera natural como hemos dicho en el Contexto prehistórico. Estrabón cita el uso de alumbre líquido. Charles Singer (Singer 1948) en su monumental obra patrocinada por la familia inglesa Spence, magnates del alumbre desde el siglo XIX, no profundiza en los procedimientos empleados en la Antigüedad para producir alumbre. De hecho la alunita no la menciona hasta el imperio romano, y las referencias al alumbre en la antigüedad asiria y egipcia resaltan más sus aplicaciones que su extracción.

El proceso de refino a partir de la alunita no está claramente documentado hasta Agricola en 1555. El proceso de refino consiste en primer lugar en una tostación de la alunita que conseguirá eliminar parte del agua molecular lo que permitirá su posterior disolución en agua caliente. En esta operación las impurezas se separan por decantación. La posterior precipitación por enfriamiento de la solución da un alumbre cristalino, que es considerado como el producto químico más antiguo de alta pureza. Esto ya era conocido por los fenicios que ya debieron intercambiar telas color púrpura de Tiro por cobre y oro con los tartesios en Gades, la actual Cádiz.

La alunita será la materia prima principal que se emplee desde el imperio babilónico hasta la caída de Constantinopla en poder de los turcos otomanos en 1453. En ese periodo la fuente de suministro de alumbre estaba en territorio de las actuales Siria y Turquía y especialmente famoso fue en particular el alumbre de Rocca.

Pero también había alumbre de origen africano y el geógrafo árabe Al Idrisi cita en el siglo XII rutas comerciales de alumbre que

empezaban en la actual Mauritania y otros países del oeste de África y llegaban a Europa, como el oro de aquellos países, a través de Egipto.

La consecuente crisis socio-económica seguida a la caída de Constantinopla producirá encarecimiento y escasez del alumbre en Europa Occidental, lo que estimulará la búsqueda de fuentes propias de suministro y materiales alternativos.

La primera alternativa a la alunita la proporcionan las tierras de alumbre, en las que no está presente el alumbre, pero sí sus componentes azufre y aluminio, pero en compuestos distintos. El azufre estará presente en forma de piritas y otros sulfuros metálicos y el aluminio estará presente en la arcilla en forma de silicatos. El alumbre se sintetiza por lixiviación espontánea producida por la auto combustión de la materia carbonosa presente en la tierra de alumbre, iniciada por la presencia de pirita. El anhídrido sulfúrico formará ácido sulfúrico con el agua atmosférica y la lluvia ácida lixiviará los feldespatos de la arcilla, produciendo una solución de alumbre cuya escorrentía superficial dará lugar a precipitados de alumbre. De esta minería de supervivencia hay constancia en los lignitos del Maestrazgo, y en Andorra, documentada en el siglo XVI (Lerma 2000).

Posteriormente surgen de nuevo problemas de suministro por enfrentamientos político-religiosos entre el Papado y las Monarquías europeas. La escasez en este caso en Inglaterra lleva al descubrimiento de otra alternativa: las pizarras de alumbre de Yorkshire, que empiezan a explotarse a comienzos del XVII. Estas *alum shales* situadas estratigráficamente en el Jurásico inferior, son similares a las pizarras de gas, cuya explotación se hace por *fracking*. Estas pizarras se utilizaron como materia prima de alumbre hasta después de la II Guerra Mundial. Sus restos arqueológicos en Whitby y otros lugares de la costa de Yorkshire son Patrimonio Nacional. A partir de finales del XVIII se usaron en Escocia pizarras de escombreras de minas de carbón.

¿Pero que ocurrió después de la Ilustración que daría lugar a la aparición del sistema Bauxita Aluminio?

En primer lugar se consiguió aislar el aluminio cuya existencia se había anunciado por Lavoisier en 1780. Oersted y Woehler consiguen

aislarlo en la segunda decena del siglo XIX. Y en esa época también Faraday continúa las investigaciones de Davy y establece las bases del electromagnetismo.

Pero además del aluminio y la electricidad un nuevo material terminaría motivando que el alumbre dejase de ser la fuerza motriz de este importante sistema económico.



Fig. 10 Concha de Murex Brandaris

William Perkin descubrió en Londres en 1856 la

anilina morada - un tinte sintético derivado del gas de hulla - que sustituía con ventaja a los pigmentos convencionales para producir la púrpura de Tiro, que desde los fenicios se extraían de un molusco del Mediterráneo (Fig. 11).

Además de ser más barato, la ventaja principal del tinte sintético era que se adhería a los tejidos sin necesidad del mordentado previo con alumbre, lo que reducía el coste del tinte. El alumbre como mordiente de los tejidos terminaría perdiendo esta aplicación - según los tintes sintéticos iban sustituyendo a los de origen animal y vegetal - aunque el cambio no sería instantáneo. El artículo (Rodríguez Mourelo<sup>2</sup> 1903) es una auténtica oda al alumbre, como producto extraído de la alunita y como producto sintetizado con ácido sulfúrico y arcilla. La bauxita no es mencionada en el artículo, que por otra parte si menciona el “utilísimo” aluminio, calificativo que resulta curioso si se tiene en cuenta que el proceso Hall-Heroult llevaba 17 años en el mercado y en España tardaría todavía 25 años en usarse.

<sup>2</sup> José Rodríguez Mourelo (1857-1932) profesor de Química y miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales desde 1902

Además en 1850 se inicia la producción de aluminio industrial. El aluminio había sido objeto de laboratorio desde las experiencias de Davy en 1808. Pero en 1855, en la Exposición Universal de París se exhiben junto a las joyas de la corona francesa unos lingotes de aluminio producido por vía química por reducción con sodio el año anterior en Javel, a la afueras de París, por Henri Deville, que abarataba mucho el sistema basado en el potasio que había desarrollado Friedrich Woehler en 1827. El proyecto fue financiado por Napoleón III que pensaba fabricar corazas para sus tropas con el nuevo metal ligero.

En aquel momento el coste de su producción solo permitía competir con el oro en la orfebrería, pero esto no fue más que el pistoletazo de la fiebre del aluminio que duró hasta que se pudo disponer de corriente eléctrica industrial lo que logra Werner Siemens en Alemania en los años 1870. Hall y Heroult en 1886 descubrieron el proceso electrolítico de producción de aluminio que redujo drásticamente el precio del aluminio, con lo que se convirtió en el metal base de mayor crecimiento, liderazgo que sigue ostentando hoy.

Además también Deville había patentado en 1860 un proceso de extracción de alúmina de la bauxita, roca identificada como mena de aluminio por Berthier 40 años antes, hecho que sigue planteando incógnitas en los historiadores del aluminio, pues no se explica fácilmente este retraso en emplear la bauxita como mena de alúmina. Este segundo descubrimiento de Deville consolidó desde entonces el liderazgo de la bauxita en la producción de alúmina, que se ratifica en 1890 con el proceso de Karl Bayer.

La primera mitad del siglo XX ocupa a los productores de aluminio en el desarrollo de sus aplicaciones. En particular la Segunda Guerra mundial supondrá un gran impulso con la aviación y después de ella cae el consumo de aluminio metálico, lo que producirá excedentes de alúmina que se dedicarán a otras aplicaciones, entre ella la de los derivados del alumbre que aún mantenían el antiguo sistema alunita-alumbre vigente, que terminará en 1950.

El alumbre hecho a partir del hidrato de aluminio obtenido de la bauxita, será más barato que el fabricado a partir de las pizarras de alumbre, lo que acaba definitivamente con el papel del alumbre como

primer producto mineral a base de alúmina. *Alum* se sigue llamando hoy en USA al sulfato de aluminio, quizá recordando al auténtico alumbre, el sulfato de aluminio y potasio, cuya existencia hoy pasa desapercibida, reducida a una presencia testimonial en la producción de barritas para cortar las hemorragias de los cortes producidos durante el afeitado y la piedra de alumbre, desodorante que pretende recuperar su protagonismo antiguo, con publicidad engañosa de “producto natural”.

Se repite aquí lo ya dicho con anterioridad, que sobre el alumbre hay mucha bibliografía - ya mencionada en el Prólogo - a la que se remite a los lectores interesados en la historia del alumbre.

Volviendo a la Fig. 9 del Contexto histórico del alumbre, en los dos diagramas se observan unas flechas verticales de entrada y salida a los flujos horizontales. En el caso de la alunita indican que antes de 1400 ya empiezan a usarse las tierras de alumbre para fabricar alumbre y en 1600 las pizarras de alumbre como materia prima en la producción de alumbre. Las pequeñas flechas de salida verticales indican que durante todo el tiempo, además de alumbre se producían cales y tierras de alumbre (alúminas) como subproductos de interés marginal comparado con el del alumbre.

En el caso del diagrama de la bauxita los subproductos de la producción de aluminio son la alúmina y el alumbre. Conviene precisar que la alúmina se considera materia prima del aluminio, no un subproducto, pues de hecho sus fábricas fueron independientes, ya que las refinerías de alúmina se instalaban cerca de los yacimientos de bauxita y las de aluminio cerca de centrales eléctricas. La alúmina referida como subproducto del aluminio es la alúmina hidratada o hidrato de aluminio, paso previo a la obtención de la alúmina metalúrgica, conocida también como alúmina calcinada.

En la situación actual hay indicios de un nuevo cambio de sistema económico y aunque el análisis de este cambio caiga claramente fuera del alcance de la tesis se incluye a continuación un comentario que puede ser germen de otro Proyecto PostDoc. Como se ha dicho, la alúmina de usos no metalúrgicos tiene aplicaciones con valor añadido muy superior que la metalúrgica y un caso extremo son las aplicaciones

farmacéuticas en forma de hidrogeles para coadyuvantes de vacunas o para medicamentos homeopáticos. Su precio de venta es de un orden de magnitud mil veces superior que el de la alúmina metalúrgica, aunque lógicamente los volúmenes de negocio son decenas de miles de veces inferiores. Los datos de producción mundial de alúmina en 2014 fueron 6,1 Mt de alúmina química y 101,8 Mt de alúmina metalúrgica. En el campo de materiales cerámicos y refractarios las diferencias de cantidad y precio se reducen mucho pero parece oportuno mencionar en este punto varios hechos de alcance regional:

El premio Príncipe de Asturias 2014 de Investigación fue concedido al químico español Avelino Corma y a otros dos investigadores americanos por sus trabajos con materiales mesoporosos entre los cuales están los geles de alúmina.

El Centro de Investigación de Nanomateriales del CSIC (CINN), lleva tres años investigando en sus instalaciones de Sotrondio (Asturias), compitiendo mundialmente en cerámicas avanzadas, en las cuales la alúmina es un material básico.

Y para terminar se puede mencionar el aparente desinterés de Alcoa por el futuro de su fábrica de aluminio electrolítico de Avilés, lo que está en línea con su estrategia mundial. Alcoa dejó de ser hace unos años líder en producción de aluminio primario y ha pasado a liderar la producción mundial de alúmina, lo que en términos económicos actuales no resulta fácil de entender, pero se puede explicar con las proyecciones futuras de ambos mercados.

No obstante el potencial del aluminio metálico todavía tiene muchas aplicaciones por desarrollar, por ejemplo la batería Al-Aire que podría conseguir autonomías de un automóvil ligero durante 2000 km y hacer desaparecer el motor de combustión interna en un plazo de 15 años.

Pero por otra parte parece que se está asistiendo a la resurrección de la alunita y de la arcilla como materias primas de alúmina. El desarrollo del proceso Orbite en Québec para la extracción de alúmina con ácido clorhídrico a partir de arcillas, barros rojos y cenizas volantes ya se comentó en la introducción.



En la referencia (POTASH RIDGE 2015) se detalla la situación de un proyecto de explotación de alunite para fabricación de sulfato de potasa (SOP), concentrado de alúmina y ácido sulfúrico del que se ha extraído la figura 9.

Esta figura recoge la continuidad del procesado de alunite desde 1878 a 1949 en New South Wales, Australia, desde 1915 a 1930 en Utah, EEUU y desde 1960 a 1994 en Azerbaijan.

### Recent Production of SOP and Alumina from Alunite

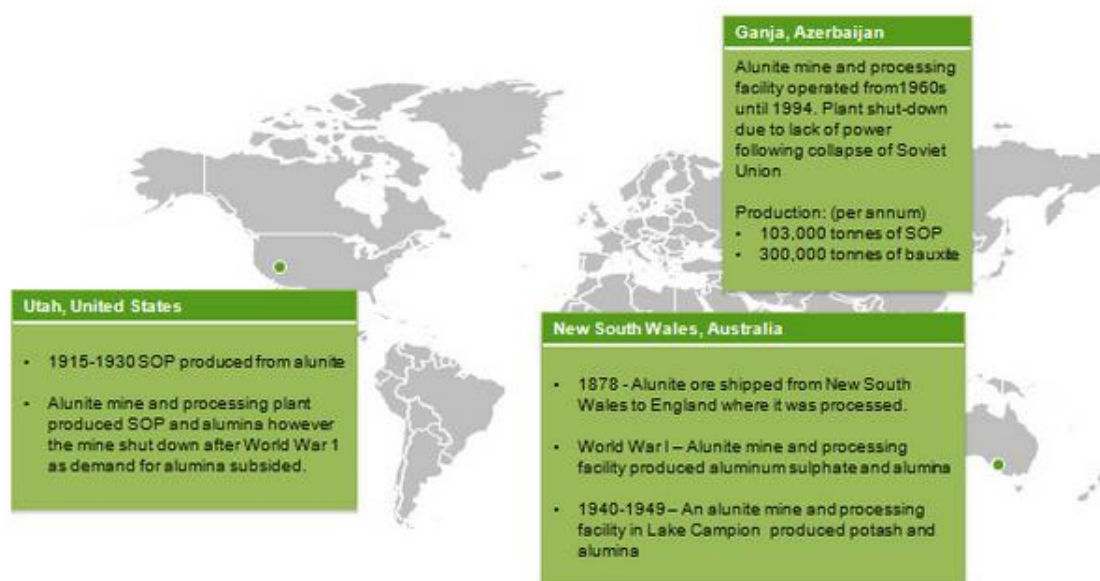


Fig. 11 Sulfato de Potasa y Alúmina a partir de Alunite.

En Utah USA existe un pueblo minero abandonado llamado Alunite porque en él se explotó la alunite para extracción de potasio para la industria de explosivos antes de la Primera Guerra Mundial. Después se empleó en la extracción de sulfato de potasa y alúmina que no era competitiva con la Bayer, lo que obligó a cerrar la planta.

La viabilidad del proyecto de la compañía Potash Ridge en Blawn Mountain, Utah permitirá vislumbrar la sostenibilidad del actual sistema imperante basado en la bauxita.

Si los proyectos de Potash Ridge y Orbite Technologies cumplen sus expectativas, cabría investigar cual fue la causa del “retraso” en la

búsqueda racional de una mena y un proceso más eficiente que el Bayer. Esta investigación sería más fácil de hacer con el “business case” de la sosa, que se puede resumir así:

El primer mineral de sosa en Europa fue el *natron*, la propia sosa hidratada que como evaporita se encuentra en muchos lagos desecados.

La distancia de estos lagos desecados y/o su olvido haría que en algún momento de la Edad Antigua en algún lugar del Mediterráneo se descubriera que las cenizas de unas plantas costeras, conocidas como *barrillas* en Alicante, contenían sosa.

En 1770 las necesidades de la industria textil superan el suministro de *barrilla* lo que lleva a desarrollar el Proceso Leblanc en 1783 con sal común, ácido sulfúrico, caliza y carbón. El Proceso Solvay en 1863 sustituyendo el sulfúrico por amoníaco en el proceso Leblanc terminará desplazando al proceso Leblanc por sus menores coste e impacto ambiental.

En 1938 se descubre el yacimiento de *trona* (carbonato sódico hidratado mineral) en Green River, Wyoming pero su explotación no se encuentra rentable.

En 2007 el precio de la trona permite a EEUU fabricar todas sus necesidades de sosa a partir de su propia *trona* y le convierte en país exportador de sosa.

¿Qué impidió durante durante la segunda mitad del siglo XX explotar la trona de Green River?

Esta compleja pregunta minero-económica se podrá plantear a los casos de la bauxita con los mencionados proyectos de alunita y arcilla, una vez comprobada su viabilidad, para tratar de encontrar alguna utilidad revisionista a la historia de la tecnología. Pero en los objetivos de esta tesis no ha sido considerada esta utilidad, lo cual definitivamente obliga a cerrar este capítulo dejando estas disquisiciones sobre los futuros procesos de fabricación de alúmina para la lista de trabajos post-doc.

## **PRIMERA PARTE: RECURSOS DE ALUMINA EN 1683**

Como se ha dicho en el Planteamiento, la primera parte de la tesis se dedica a analizar los recursos existentes en Europa para fabricar alúmina antes de 1683. Antes de la Ilustración no existieron sistemas industriales de fabricación de alúmina, aunque es obvio que existía en múltiples formas y como parte de diversos sistemas de fabricación de otros productos relacionados con la alúmina - fundamentalmente el alumbre - pero la alúmina era un producto de laboratorio. En esta primera parte, se analizan los conceptos y materiales, que como conjunto denominamos RECURSOS, existentes en 1683 y que se empleaban en dichos sistemas.

Para su estudio estos recursos se clasifican en intelectuales y materiales.

Los recursos intelectuales a su vez se dividen en los siguientes grupos:

- Georg E. Stahl
- Enseñanza e Investigación
- Química
- Física
- Otros recursos intelectuales

Y los recursos materiales en:

- Sistemas de alumbre
- Materias primas
- Recursos energéticos
- Otros recursos materiales

## RECURSOS INTELECTUALES

### Georg Ernst Stahl (1659-1734)

Como se ha mencionado anteriormente el alumbre era una mercancía comercial hace 5000 años, de cuya actividad quedaron registros en tablas de arcilla en las civilizaciones antiguas del Creciente Fértil. En estudios arqueológicos se ha podido identificar la presencia de aluminio en tejidos, lo que acredita el uso del alumbre durante el tinte y en recipientes funerarios como conservantes por desecación de la materia orgánica.

También existen registros del uso del alumbre como agente floculante para potabilizar el agua en el Antiguo Imperio del Delta del Nilo y dos mil quinientos años después las referencias documentales al uso del alumbre en la otra orilla del Mediterraneo, tanto en griego como en latín, han sido estudiadas por los historiadores del alumbre. En la Baja Edad Media se multiplican las referencias bibliográficas también en árabe, pero todas ellas salen del campo temporal de esta tesis.

En la Edad Moderna ya hay muchas referencias en español, alemán, inglés y francés, pero el latín sigue siendo la lengua culta que todavía usan los académicos bien avanzado el siglo XVII, lo que dificultó en el inicio de la tesis el precisar el conocimiento que existía de la tierra o la cal del alumbre, como se la conocía entonces.

El hallazgo en 2006 de la Historia del alumbre de Charles Singer (Singer 1948) tuvo una especial relevancia, aunque su utilidad final fue reducida pues dicha obra no pasa de ser una recopilación de

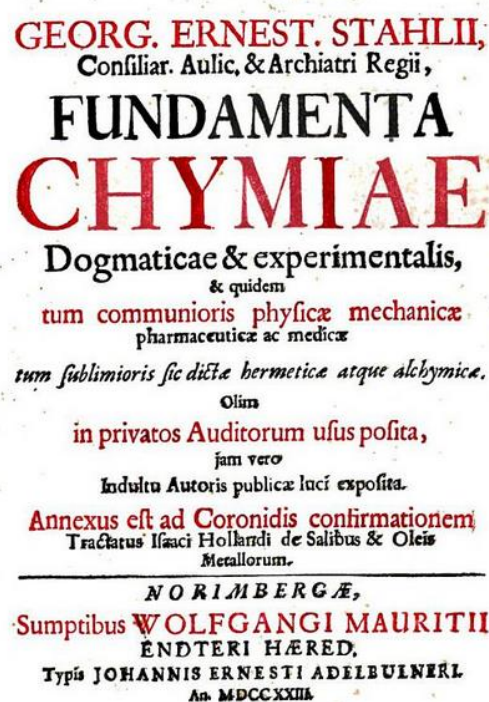


Fig. 12 Portada de FUNDAMENTA CHYMIÆ

datos<sup>3</sup> poco estructurada. Pero aquel hallazgo fue importante por su introducción a la obra *Fundamenta Chymiae* (Fig. 13) de Georg Ernst Stahl (Stahl 1723) que sirvió para encontrar la versión inglesa publicada en Londres en 1730 como *Philosophical Principles of Universal Chemistry*<sup>4</sup> (Fig. 14). En ella hay dos páginas dedicadas al alumbre que describen lo que se refiere en lo sucesivo como “Proceso clásico” de obtención de alúmina: si a una solución de sulfato de aluminio y potasio se le añade un álcali, se forma un precipitado gelatinoso de hidróxido de aluminio hidratado, que una vez seco y calcinado sería la “tierra” del alumbre (Fig. 14).

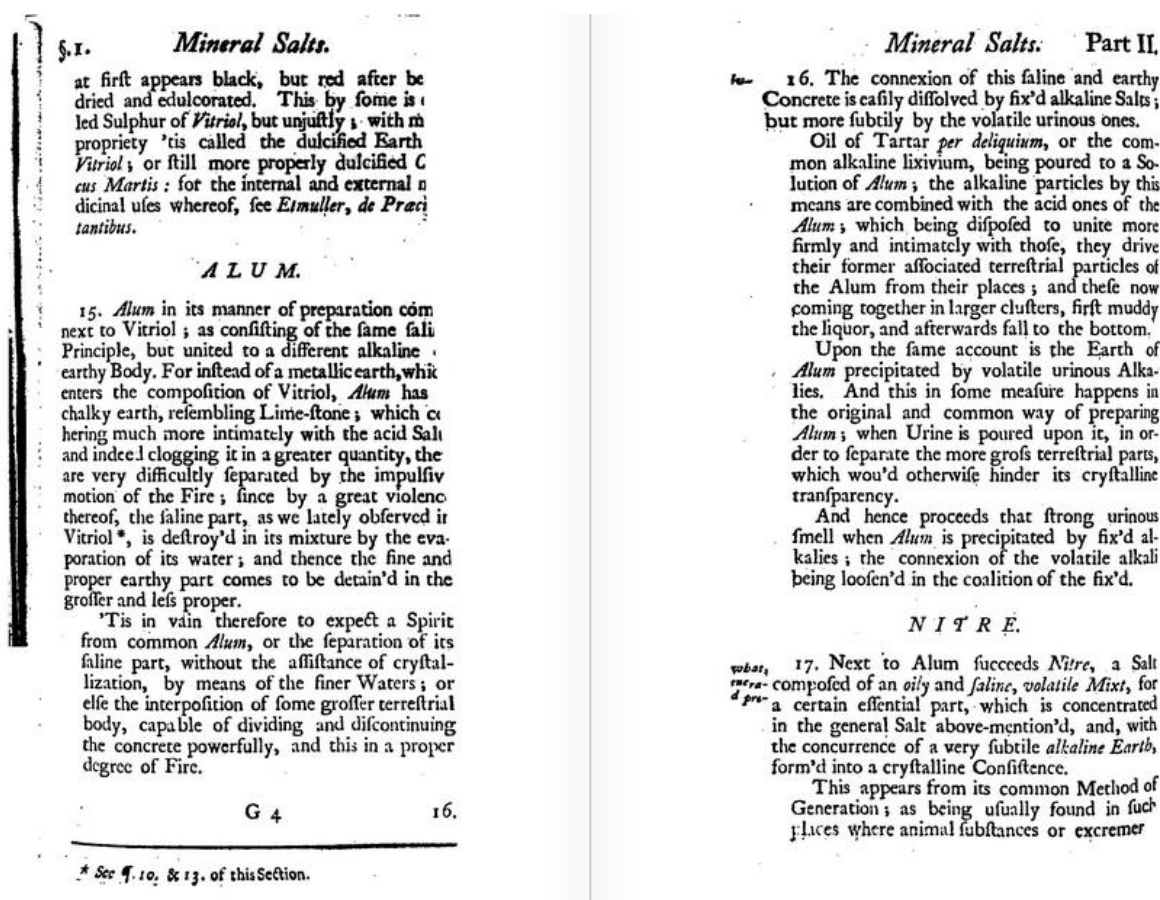


Fig. 13 El alumbre en FUNDAMENTA CHYMIAE

<sup>3</sup> Ver críticas de George Sarton en *ISIS* Marzo 1950 (Sarton 1950) y de Robert S. López en *The Journal of Economic History*, Mayo 1950 (López 1950)

<sup>4</sup> <https://archive.org/stream/philosophicalpr00shawgoog#page/n108/mode/2up> consultado 31.8.15

Esta obra fue un libro de texto en forma de apuntes manuscritos desde 1683 hasta 1730, cuando Stahl ya en la cumbre de su carrera como **Consiliar. Aulic. & Archiatri Regii**<sup>5</sup> según reza en la portada, consiguiera publicarlo. Esta publicación merecería un artículo separado y un historiador que la ha estudiado es Kevin Chang de la Academia Sinica de Taiwan, que presentó una ponencia (Chang 2010) al Congreso<sup>6</sup> sobre Alquimia celebrado en El Escorial en Setiembre de 2007, organizado por AZOGUE Revista electrónica dedicada al estudio de la Alquimia.

En dicha ponencia se confirma que la publicación en latín de la obra *Fundamenta Chymiae* se basa en la recopilación y difusión hecha por alumnos del curso de Química que impartió Stahl en la Universidad de Jena en 1683. En este punto resulta apropiado citar el artículo de Guimerá y Delgado, investigadores del CSIC, de 1996 sobre “El proceso de transmisión de un texto manuscrito del siglo XVIII”, que prueba las dificultades para publicar un libro en dicha época, lo que explica que Stahl tuviera que esperar a ser Médico de la Corte para lograrlo.

Las dos páginas citadas no fueron ningún artículo de investigación, eran un breve capítulo dentro de un texto de 400 páginas, que es una recopilación de los conocimientos de Química de la época, hecha por un recién graduado médico durante su doctorado. Y ello sea dicho sin desmerecer la capacidad del joven Stahl, cuyo interés por la Química - según anotación de Pierre J. Macquer (1718-1784) en su *Dictionnaire de Chimie* - le había llevado a leer con quince años la *Chimia Rationalis* de Michael Etmüller (1644-1683), una obra avanzada ya para un bachiller en 1674.

Con esta conclusión se pretende resaltar el hecho de que el conocimiento recogido en el texto presentado, con toda seguridad, es transcripción de un conocimiento existente muy anteriormente, pero demostrar esta afirmación podría ser objeto de otro Proyecto Fin de Tesis, entre otras razones por la dificultad - para un doctorando en Minería - de bucear en la literatura química anterior a 1683, en su mayor parte en latín.

---

<sup>5</sup> Stahl fue médico de la Corte en Berlín de 1717 a 1727

<sup>6</sup> <http://www.revistaazogue.com/conference/spanish.pdf> consultado el 31.8.15

Stahl es una figura indiscutible de la historia de la Química por su papel en la difusión de la teoría del flogisto que explicaba la combustión, la oxidación y la respiración antes del descubrimiento del oxígeno.

De su capítulo dedicado al alumbre se puede destacar el carácter calcáreo que le atribuye a su tierra. *Tierra* entonces era el residuo terroso del análisis de cualquier roca o mineral, lo que los alquimistas llamaban “caput mortuum”, el último capítulo.

Todavía llevaría más de cien años hasta que Lavoisier afirmase en su *Traité Elementaire* de Chimie<sup>7</sup> que la tierras “raras”<sup>8</sup> serían los óxidos de metales desconocidos hasta entonces y justificamos este salto en el tiempo para introducir la gran rivalidad que hubo entre las escuelas que crearon estos dos grandes autores, en cuyas obras se encuentran muchas razones de ser de la alúmina y algún que otro sistema de fabricación de alúmina.

Otra consideración interesante es que su primera edición fue en latín, aunque es de suponer que los apuntes circularían en alemán. Y aún más, según se puede observar en la primera edición en latín el autor emplea aún la simbología alquímica, lo que hace suponer que era un libro destinado a un público muy restringido.

La edición en alemán se hace en 1725 y en ella ya se prescinde de la simbología alquímica, que se sustituye por palabras que cualquier

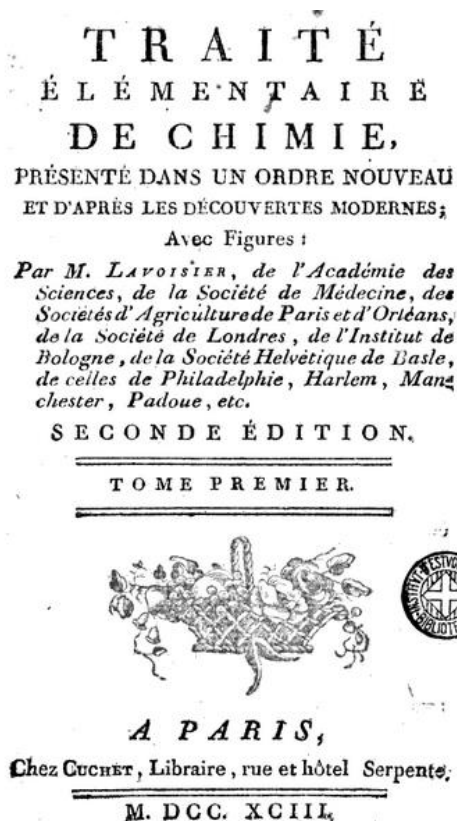


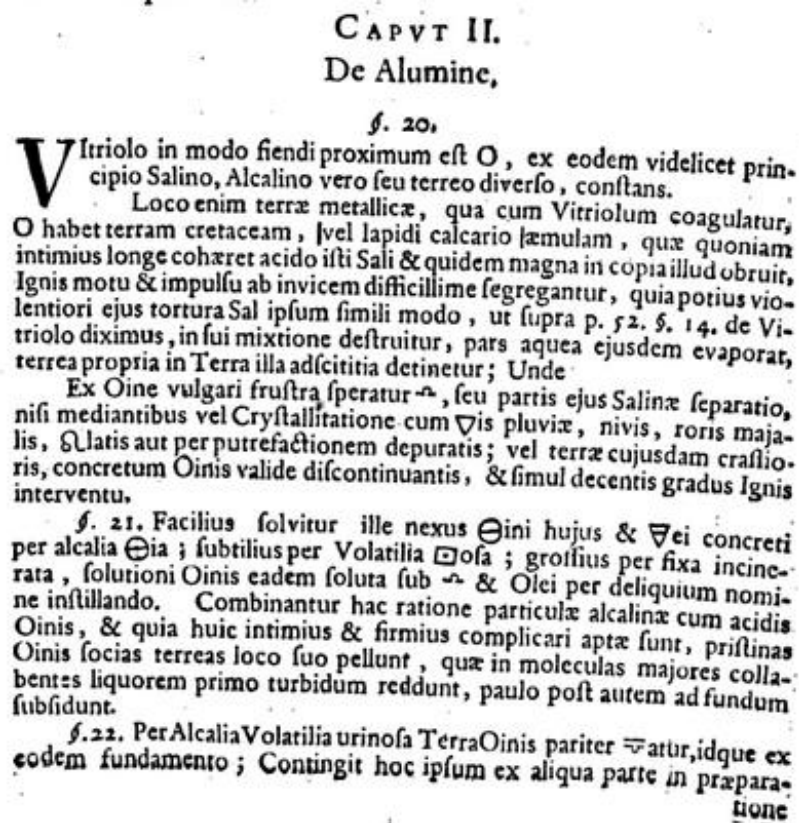
Fig. 14 Traité Élémentaire de Chimie de Lavoisier

<sup>7</sup><https://books.google.es/books?id=-KkO-8zd1voC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f>

<sup>8</sup> Juego de palabras entre *raro*, adjetivo calificativo de algo poco común y *tierra rara*, elemento del grupo de los lantánidos

lector podría al menos leer y comentar sin conocimientos previos.

Se presenta a continuación (Fig. 16) el capítulo dedicado al alumbre en la edición original en latín, con un comentario de vocabulario y sintaxis empleada en la edición original y la traducción al inglés.



Digitalizado por Google

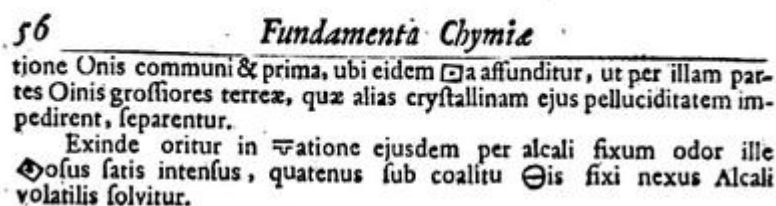


Fig. 15 FUNDAMENTA CHYMIAE de Georg E. Stahl

Hay que resaltar que los nombres que se emplean para designar a los productos químicos resultan confusos actualmente, por ejemplo, los *Alcalia Volatilia Urinosa* serían álcalis de amonio. En 1683 su



comprensión estaría reservada a lectores versados en *Doctrina Chymica*.

Lo mismo ocurre con la sintaxis empleada en la descripción de los procesos, por ejemplo, el de precipitación y decantación que sucede después de añadir un álcali a una solución de alumbre, descrito al final del punto 21:

*... quae in moléculas majores collabentes liquorem primo turbidum reddunt, paulo post autem ad fundun subsidunt*

Lo que se puede traducir como:

*... las cuales se agrupan en grandes racimos que primero enturbian la solución y luego se van depositando en el fondo*

Y en lenguaje actual se podría traducir el párrafo entero como:

*La tierra del alumbre se puede extraer descomponiendo una solución de alumbre con álcalis, cuyas tierras son más afines al ácido que las del alumbre, por lo que éstas se precipitan en forma de gel en el fondo del recipiente.*

Este texto describe un proceso de extracción de alúmina que no merecería entre sus lectores más interés que el meramente teórico, pues la mencionada tierra del alumbre no tenía muchas aplicaciones. Si se calcinaba se obtenía el *caput mortuum* del alumbre, con el que habrían cerrado tantas investigaciones muchos de los alquimistas desde Egipto hasta Al Andalus.

Los apuntes de la clase de Química de Stahl de 1683, aún estando en alemán, serían aún más confusos que esta primera edición latina, con errores acumulados en las sucesivas copias manuales. La difusión por los alumnos de Stahl y sus continuadores en Jena por los estados del Sacro Imperio - durante los 29 años transcurridos desde el doctorado de Stahl a su publicación en forma de libro - le dan un valor capital a esta clase de Stahl en la Universidad de Jena, Turingia en 1683.

No obstante, el hecho de que hubiese libros en la Ilustración tampoco quería decir que fueran asequibles y pudiesen llegar a todos los profesionales o interesados por el conocimiento químico mineral - en el que Alemania destacaba mientras que Francia lo hacía en la química vegetal -. Pero estas consideraciones pertenecen al capítulo de Procesos desarrollados durante la Ilustración.

### Enseñanza e Investigación

La separación entre la Docencia y la Investigación, entre la Educación Académica y la Formación Profesional o entre Formación y Divulgación ya existía en 1683. Por ello se divide este capítulo en los cuatro apartados siguientes:

- Formación Profesional
- Educación Universitaria
- Investigación
- Divulgación

### Formación Profesional

Los gremios medievales seguían funcionando con los mismos principios iniciales, eternos por otra parte, que pretendían asegurar su posición de poder en la sociedad mediante el control de la formación de sus miembros, entre otros recursos. La formación de los canteros y albañiles seguía siendo celosamente guardada y transmitida de padres a hijos o de maestros a oficiales como se practicaba en las construcciones de la Mezquita de Córdoba o de El Escorial. Pero los palacios barrocos asturianos del s. XVII - según el profesor J.C. de la Madrid de la Universidad de Oviedo - se seguían haciendo con muy pocos planos y su calidad se basaba en un diseño arquitectónico y un sistema constructivo, basados a su vez en un método de transmisión de conocimientos todavía muy cerrado, típico de los gremios medievales.

La formación de los alquimistas fué modélica en oscurantismo y hermetismo con algunos fines similares a los gremios de la construcción, aunque con una actividad mucho más reducida – aunque

tan apreciada por la nobleza e incluso la realeza como denostada por la Iglesia, todavía supervisora de los sistemas de inteligencia -.

Esta fuerza gremial había logrado crear una gran cantidad de conocimiento práctico que cada vez se iba articulando mejor, de forma que en 1683 la formación profesional de ensayadores de minerales, carpinteros de mecanismos, curtidores de cuero o tintoreros de seda eran recursos intelectuales muy valiosos.

### Educación Universitaria

Como se ha comentado en el capítulo anterior la alquimia llegaba a la Universidad, aunque Stahl tuvo que navegar en un mar de dudas para superar la influencia profesional de los químicos prácticos durante el desarrollo de su vida profesional. En este punto convendría recordar que Isaac Newton - cuyas aficiones alquimistas son bien conocidas - no publicó sus *Principia* hasta 1687, después de discusiones profesionales con Hooke, Leibniz y otros colegas, discusiones no exentas de contenido ideológico - sin dejar de reconocer que había concebido los Principios quince años antes, con menos de treinta años de edad.

Las siete artes liberales gramática, dialéctica, retórica (trívium) y aritmética, geometría, astronomía y música (quadrivium) se enseñaban en los conventos antes de crearse los primeros Estudios Generales, embrión de la Universidad, en el siglo XIII. Cuatro siglos después los currículos docentes habían evolucionado distintamente en el territorio europeo y todavía ahora, el EEES, un Espacio Europeo de Educación Superior, está en vías de creación.

En 1683 en la Universidad de Jena Stahl daba clase de Química pero en la flamante Universidad de Oviedo que había arrancado en 1606, todavía sólo había tres cátedras: Teología, Cánones y Leyes y las Artes Liberales – más relacionadas con la Filosofía Natural - tardarían en entrar. No obstante en Salamanca ya había habido clases de Astronomía, Matemáticas y Medicina en el siglo XIV. Es decir que los recursos universitarios eran diversos según los países y dentro de cada país.

La Universidad en Europa a finales del s. XVII también fué un recurso intelectual fundamental para el desarrollo durante la Ilustración del conocimiento que proporcionó razones de ser y sistemas de fabricación de alúmina.

### Investigación

Podría ser innecesario destacar que la Investigación nació fuera de la Universidad, que iría incorporando, como ocurre hoy en muchas disciplinas de muchas universidades, los nuevos conocimientos a sus planes de enseñanza.

La Investigación Moderna nació en las Academias Reales fundadas en Europa durante la llamada Revolución Científica.

Se suele afirmar que la primera academia de la Edad Moderna en Europa fue la Royal Society, fundada en 1660, pero en 1582 se fundó la Real Academia Matemática de Madrid, aunque es cierto que ambas academias tuvieron vidas muy distintas. También antes, en 1657, se había fundado la Academia del Cimento en Florencia. La Academie des Sciences se funda en Paris en 1666.

Y la investigación en 1683 se hacía con recursos que podríamos calificar de privados con algún matiz. La realidad obvia es que se hacía con recursos económicos y ello la situaba próxima a la nobleza y a la realeza, instituciones que detentaban el poder económico.

No procede extenderse en la descripción de este recurso Relacionado con la Enseñanza y la Investigación que - como la Universidad - es ocioso decir que será básico para el desarrollo de la alúmina en la Ilustración.

### Divulgación

El último recurso que se menciona en este capítulo hace referencia a un apartado poco relevante todavía en 1684 como es la divulgación de los conocimientos tecnológicos y científicos, que no gozaban de gran prestigio social en aquellas fechas. Hoy siguen siendo más voluminosas

las ediciones literarias que las científicas, a pesar de algunos lamentos sobre la marginación de las humanidades frente a la tecnología.

La primera biblia impresa por Gutemberg estuvo disponible hacia 1555 y tuvo una gran difusión, pero el manuscrito permanece vigente como pudimos comprobar con la obra de Stahl.

Tampoco procede aquí analizar en profundidad la situación de la industria editorial en 1683, pero no podemos dejar de hacer constar una curiosidad material que relaciona esta industria con la alúmina.

El soporte de la escritura tuvo mucha relación con el alumbre y de hecho hay un vínculo semántico entre alumbre e iluminación. Los pergaminos que sustituyeron a los rollos de soportes hechos con fibras vegetales - anteriores a la llegada del papel a Europa - presentaban inicialmente el problema de que la tinta líquida se extendía por la piel. Este problema se resolvía con una preparación de la superficie del pergamino con alumbre. Esta especie de “encolado” superficial - mejorado posteriormente - permitió la iluminación de los códices. Se entiende por iluminación la inclusión de figuras en el texto, que ha dado lugar a obras de arte antológicas. Esta iluminación para algunos filólogos guarda relación con el “alumbrado” (tratamiento con alumbre) y como alumbre en latín es *alumen*, es posible la relación semántica de alumbre e iluminación.

Y para concluir este comentario sobre la situación de la divulgación a finales del siglo XVII, una breve referencia a otro material vinculado a la alúmina hasta hoy día: el papel. Fue la disponibilidad de papel barato lo que permitió el desarrollo del libro, pero el problema de la fijación de la tinta en los pergaminos no era menor en el papel - problema que también se resolvió aplicando un tratamiento de alumbre que le da un apresto al papel (cuya explicación científica guarda relación con el recubrimiento de las fibras vegetales con una capa de alúmina, similar a la explicación del mordentado previo al tinte de los tejidos).

## Química

Después del análisis de las instituciones dedicadas a Enseñanza e Investigación, en los próximos capítulos se analizan los contenidos intelectuales que las instituciones comentadas en el capítulo anterior habían logrado acumular hasta 1683, sin pretender hacer una descripción exhaustiva, sino restringiendo dicho análisis a los que finalmente tendrían alguna relación con la alúmina en el periodo histórico siguiente.

Usando el léxico actual se clasifican estos recursos en las ramas de conocimiento de la Química y la Física y se añade un capítulo final cajón de sastre de otras ramas como Geología, Biología, Filosofía y Metafísica.

No se considera necesario insistir en la afirmación de que el cuerpo doctrinal de la Alquimia fue una de las primeras fuentes del conocimiento de la materia, pero se deja para sus especialistas la profundización en sus contribuciones más relevantes. Se recomienda la lectura de la Historia de la Alquimia de un profesor de Química de esta Universidad, Siro Arribas Jimeno (1915-2007) (Fig. 17).

Esta recopilación de conocimientos químicos existentes en 1683, recoge alguna de las digresiones en la Historia de la Química efectuadas durante la recopilación de información, que tengan relación particular con la alúmina. Se recuerda que esta tesis no es de Historia de la Química, pero la Revolución Química influyó decisivamente en el alumbro y resulta necesaria una mínima introducción general.

El estudio del origen etimológico de la palabra *química* lleva al fonema egipcio *chem*. En ese punto las

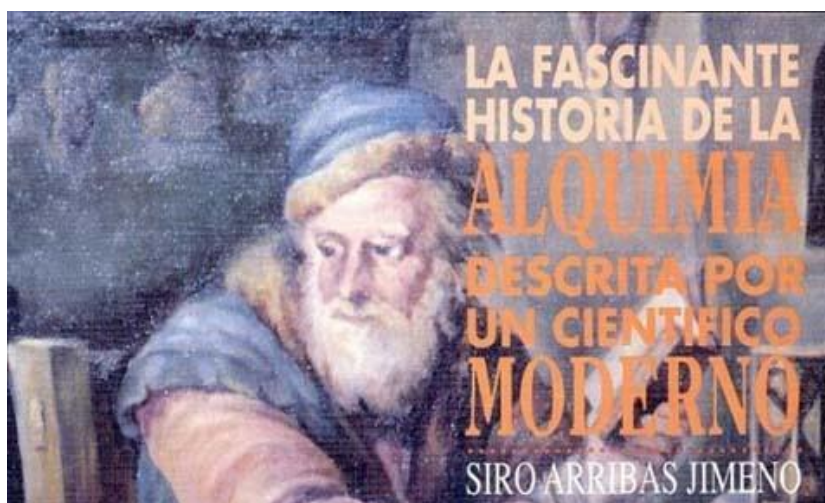


Fig. 16 Historia de la Alquimia de Siro Arribas

interpretaciones de los especialistas son diversas, pues unos apuntan a que el vocablo *chem* guardaría relación con la *tierra negra*, la tierra fértil de las riberas del Nilo, fuente de alimentación. Otros autores indican que guardaría relación con la *tierra roja* del desierto, fuente de metales, aquellos materiales, en particular el hierro - que había logrado que unos pueblos menos desarrollados como los hititas, hubieran puesto en dificultades a los todopoderosos faraones - por no mencionar su importante relación con los otros metales conocidos desde mucho antes como el oro, el metal del sol, rey de los siete metales, de los siete planetas, de los siete días, etc

### Fundamentos

El resumen más oportuno de los conocimientos químicos en 1683 es la obra *Fundamenta Chymiae* de Stahl, de la cual se acaba de comentar el apartado dedicado al alumbre, dentro del capítulo *Clases de Sales* de la primera Sección del Epígrafe *Doctrinas Químicas*. Pero por diversificación de las fuentes se va a citar otra obra contemporánea de un autor inglés.

Se ha escogido *El químico escéptico o las dudas y paradojas químico-físicas etc* de Robert Boyle (1627-1691) publicada en Londres en 1661. El año de la publicación es el primero de la Restauración de la Monarquía abolida en 1653 durante la Revolución encabezada por Oliver Cromwell, cuestión que merecerá un comentario más adelante sobre las Revoluciones Modernas y su repercusión durante la Ilustración.

La obra es estrictamente teórica y una búsqueda del término *alum* no da más que un resultado que no contiene ninguna descripción práctica sobre esta sal. Se comentan brevemente a continuación las concepciones de Boyle sobre la composición y la transformación de la materia, dos aspectos fundamentales de las teorías químicas desde los primeros registros históricos de esta disciplina.

### Composición de la materia

En la primera parte del libro Boyle arremete contra los “espagiristas vulgares”, aquellos que se esfuerzan en probar que *sal*,

*azufre y mercurio* son los verdaderos principios de las cosas. *Espagiristas* eran los médicos tradicionales, que rechazaban el empleo de medicamentos minerales, que se habían empezado a introducir en Alemania por Paracelso ciento cincuenta años antes. Complementando la visión química de la Medicina estaban los *latroquímicos*, que eran seguidores de Paracelso. Boyle preconizaba una mayor complejidad para el conjunto de los elementos. También rechazaba al Agua y la Tierra como componentes de la materia y, si acaso, eran componentes del Globo Terraqueo (pag. 350), pero no de los compuestos químicos, los mixtos que decían entonces, rebatiendo así la teoría todavía vigente de los cuatro elementos propuestos por Empédocles en Sicilia en el s. V a.C.

### Transformación de la materia

De interés para la química de la alúmina en la Ilustración son sus conclusiones, donde primero rechaza a los químicos que “vilifican al agua y la tierra” por inútiles y sin valor por no tener propiedades específicas y después elucubra sobre el papel del calor y el frío en la transformación de la materia. Estas disquisiciones sobre el agua, las tierras y el calor se convertirán en razones de ser de la alúmina cien años más tarde.

### Química clásica

El prólogo de los *Fundamenta* de Stahl es buen un resumen de la situación del conocimiento de los procesos químicos, cuya clasificación no había evolucionado mucho desde la Edad Media. Básicamente existían dos vías de estudio, la húmeda y la seca, que Stahl nombró como *Halotecnia* y *Pirotecnia*, dos ramas de lo que hoy llamaríamos Química Inorgánica. Y añadía un tercer capítulo dedicado a la *Zumotecnia*, que cubría los conocimientos sobre la Fermentación y otros aspectos que podríamos calificar hoy como Química Orgánica.



### Halotecnia, la via húmeda

La *Halotecnia* o Técnica de las Sales empleaba el agua como base disolvente para extraer los componentes de las rocas y minerales solubles en agua o en soluciones acuosas de otros productos químicos como los ácidos y los álcalis. El sencillo mecanismo de disolución y precipitación era perfectamente conocido en 1683.

Es curioso el título del capítulo *Menstruum* de este libro, dedicado a las operaciones de disolución. En inglés esta palabra mantiene el sentido arcaico de disolvente inorgánico, mientras que en español su uso ha quedado para designar la solución orgánica que expulsan periódicamente algunas hembras vivíparas.

La vía húmeda había ido acumulando una base de conocimiento teórico-práctico sobre las sales, Tanto Vitriolos como Alumbres, o el Natron, el Nitro y la sal amoniaca, por citar algunos ejemplos.

Pero también se conocían muy bien, también desde antiguo, los Ácidos y los Álcalis y todas estas sustancias seguían contribuyendo a mejorar los explosivos, el jabón, el agua potable, el blanqueo de la ropa, la fabricación del vidrio, etc.

La sosa y la potasa merecen un comentario especial por su importancia destacada en el desarrollo industrial a finales de la Ilustración, pero aquí se va a detallar como se obtenían y utilizaban en 1683.

La sosa, también conocida como álcali fijo, se obtenía en Europa en 1683 principal o industrialmente por combustión de vegetales como la barrilla, planta del género *Salsola L.*, abundante en algunas costas mediterráneas. De ahí el nombre en inglés soda ash . El carbonato de sosa también se encuentra en formaciones de evaporitas en lagos secos o en yacimientos subterráneos, pero estas fuentes - que eran conocidas desde la más remota antigüedad, baste recordar el natrón de los egipcios -no tuvieron especial relevancia económica en el siglo XVIII.

La potasa merece además un comentario especial por su presencia en el alumbre, que ya fue destacada en el capítulo inicial sobre el

contexto histórico. El término potasa en EEUU se aplica comercialmente a una variedad de compuestos naturales y artificiales que contienen el elemento potasio en forma soluble en agua<sup>9</sup>, entre los que se incluyen su óxido e hidróxido y sobre todo sus sales, carbonato, cloruro, clorato, nitrato, sulfato y permanganato. Todas las sales tienen un origen evaporítico y encontradas en los lagos de sal fueron usadas desde muy antiguo siendo usadas en la fabricación de vidrio, jabón, lejías blanqueantes de ropa, por ejemplo, el carbonato, pero también en la fabricación de la pólvora, etc. Obviamente en 1683 la potasa era un nombre de clase, más que un sustantivo identificador, cosa que tampoco es hoy como acabamos de ver. Se volverá sobre este punto en el apartado Nomenclatura del capítulo Procesos Científicos.

Del amoniaco, también vinculado al alumbre desde la antigüedad, también se conocía como fabricarlo y utilizarlo. Era la *sal de Ammon*, vinculada al oráculo de Amon en el desierto de Libia, la *sal armanniak* medieval.

El hecho es que los conocimientos acumulados eran muchos pero ni la capacidad, ni la necesidad, ni la curiosidad habían desarrollado sus aplicaciones ni conocido sus características individuales. A lo largo de la Ilustración estos conocimientos serían de gran utilidad para estudiar y beneficiar las sales de alúmina.

### Pirotecnia, la vía seca

La Técnica del Fuego siempre había estado asociada a la metalurgia y con ella los “químicos” druidas habían extendido el hierro por Europa, después del desarrollo casi autóctono y espontáneo del cobre. Además de los siete metales clásicos, Au, Ag, Cu, Sn, Fe, Pb y Hg en el siglo XVI ya se conocían As, Sb, Zn, Bi y Pt, lo cual casa difícilmente con las teorías de composición de la materia de los filósofos naturales del XVII.

La práctica de la fundición de metales por antonomasia, es decir, la extracción de metal de un mineral por fundición con carbón, se conocía sobradamente y la literatura era abundante en 1683.

---

<sup>9</sup> Potash, US Geological Survey 2008 Minerals Yearbook

Las operaciones de calcinación y refundición de los óxidos de plomo o mercurio eran también conocidas - y utilizadas en operaciones metalúrgicas como la amalgamación para beneficiar minerales de plata desde antiguo, aunque fueran los españoles en Potosí, Bolivia los que empezaran a explotar industrialmente este conocimiento a mediados del siglo XVI.

Las operaciones metalotécnicas de producción de aleaciones y sus deformaciones por forja, o sus acabados superficiales de orfebrería avanzada, también eran bien conocidas antes de la Ilustración, aunque la interpretación teórica de los hechos prácticos era más o menos acertada.

Todo este conocimiento también será útil, aunque de una manera más indirecta, para buscar los metales de las tierras que se identificarán en la Ilustración.

### Zumotecnia, la Fermentación

Este capítulo tiene menos que ver inicialmente con la alúmina aunque el ácido acético y sus antecesores los vinagres de uva, cerveza, manzana, etc., formaban parte del conocimiento químico que serviría de base para el desarrollo de la alúmina en la Ilustración. De hecho, al final del siglo XVIII el acetato de alúmina, tendrá un protagonismo en los sistemas de fabricación de alúmina, cuya búsqueda es uno de los objetivos de esta tesis.

Otras operaciones como la destilación, también podrían mencionarse en ese punto por su carácter mixto de vía acuosa y seca, y aceites esenciales y alcoholes espirituales se obtenían por destilación, en una operación similar a como se destilaban los vitriolos de hierro, cobre o zinc para fabricar ácidos en la antigüedad.

Los alumbres, que ya aparecían agrupados con los vitriolos en la Edad Media - pues se conocía que ambos tenían una base de azufre - no terminaban dando metales por destilación, pero en la Ilustración se conseguiría descifrar su esencia metálica.

## Física

### Estados de la materia

La Filosofía Natural reunía conocimientos que hoy separamos como químicos y físicos. Sería el equivalente de las Ciencias Naturales que se estudian hoy en Bachiller. Resulta difícil segregar la composición de la materia de los estados de la misma en el siglo XVII. El concepto de gas, palabra que etimológicamente viene del griego *chaos*, desorden, y guarda relación con el avance del conocimiento de la estructura de la materia que es distinta a su composición, lo que se ha analizado en el capítulo de la Química.

A finales del siglo XVII la teoría del químico flamenco J. B van Helmont (1580-1644) sobre el desorden de las partículas de los gases, le llevó a crear el término *gas* para nombrar lo que hasta entonces eran aires, vapores, etc, por lo que se ha dado en considerarle el fundador de la Química Neumática, cuyo papel será esencial en la identificación de la tierra del alumbre.

Pero la delimitación de los conceptos de estados líquido-sólido-gas y de elementos agua-tierra-aire no estaba muy clara a finales del siglo XVII, aunque se podría decir que aún hoy sigue siendo confusa cuando se profundiza más allá del plasma, por no recordar la historia del éter a principios de siglo XX o mismamente la de la materia negra astral.

### Luz y Optica

Estos campos se podrían descartar dentro de la búsqueda de recursos intelectuales importantes para la alúmina en 1683, pero los telescopios y microscopios de Kepler, Descartes, Galileo, Huygens, etc sirvieron de herramienta a Newton para culminar la Revolución Física del XVII, predecesora de la Química del XVIII en una reducción simplista.

La teoría de la Optica se remonta en Europa a Aristoteles y Euclides pero los árabes la perfeccionaron y los fundamentos de la Luz se conocen ya en la Europa Medieval. Las lentes en la Europa Medieval se usaban en los escritorios por los monjes que iluminaban códices, pero pasaron a usarse en la vida civil como gafas correctoras de visión.

Se dice que los primeros telescopios de refracción aparecen en Holanda en 1608, en plena Guerra de Flandes (1568-1648) que enfrentaba a las diecisiete provincias de los Países Bajos con España por la importancia estratégica de dichas provincias y por razones económico-religiosas.

El desarrollo de la óptica se relacionaría con la alúmina por su uso hoy común como agente de pulido, que habría tenido aplicación para el pulido de las lentes, piezas clave de microscopios y telescopios. En un libro sobre historia del vidrio pulido (Cornish 1961, 61) los agentes de tallado y pulido empleados en el siglo XVII eran el esmeril, la sílice, la caliza y los óxidos de hierro, muchos de ellos empleados desde antiguo en el pulido de metales y cuyos nombres arcaicos perduran en orfebrería: trípoli, colcótar, piedra de sangre, etc.,

No se cita expresamente la tierra del alumbre como agente de pulido, aunque hay que resaltar que de las treinta y cuatro referencias sobre agentes de pulido solo una es del siglo XVII y dos del XVIII y el libro parece más orientado a la historia contemporánea de las teorías del pulido del vidrio, con lo que la relación de la alúmina con el desarrollo de la óptica en el siglo XVII continúa pendiente de investigar.

### Los fluídos y el calor

En Italia ya hay iniciativas de medida de la temperatura (Duque de Toscana – termómetro de alcohol en 1635 y el termómetro de mercurio de la Academia dei Lincei en 1640.

La naturaleza del fuego fué objeto de conocimiento ya para los filósofos más antiguos. El concepto de fluido elástico que definieron Boyle en 1662 y Mariotte en 1676 y experimentos anteriores de Bernouilli con el flujo del agua, sirvieron a Newton para definir un fluído como “todo cuerpo cuyas partes ceden a la aplicación de cualquier fuerza”. Para Newton el aire era un agregado de partículas que se repelían mientras que las del agua se atraían (Utrilla 2014).

## Electricidad y Magnetismo

Este apartado guarda una relación muy directa con la razón de ser última de la alúmina en la Ilustración, el aluminio. Se llega a él por vía eléctrica como se había llegado para aislar los principales metales térreos, aunque hoy se llamen alcalinos: Na y K. La electrolisis será el procedimiento que permitirá reducir los óxidos de los metales que no se habían podido aislar por vía carbotérmica.

Este logro le correspondió a Davy, pero lo pudo hacer por disponer de una fuente de energía eléctrica suficiente para lograr la electrolisis por vía acuosa de las soluciones de compuestos de sodio y potasio. Para llegar a esto los recursos intelectuales disponibles en 1683 tampoco eran despreciables.

William Gilbert, médico inglés del s. XVI, en su obra *De Magnete* usa la palabra *electricus* para caracterizar las propiedades del ámbar, *elektron* en griego. En esta obra describe numerosos experimentos donde descubre las propiedades eléctricas del ámbar en otros materiales como azufre, cera, vidrio, etc. Describe la atracción eléctrica, fuerza similar al magnetismo, pero que se da entre distintos materiales, cosa que la piedra imán solo hacía con el hierro. Se le considera fundador de la ciencia eléctrica moderna.

Robert Boyle (1627-1691) experimentó también con la electricidad y publicó un detallado informe de sus investigaciones. Añadió la resina entre los materiales eléctricos y Von Guericke inventó un primitivo generador electrostático.

## Otros recursos intelectuales

En 1683 existían también conocimientos fundamentales que serían útiles en el establecimiento de disciplinas como la Geología, Mineralogía, Cristalografía y otras ciencias de la Tierra y serían empleados en los procesos de desarrollo de la alúmina en la Ilustración, así como algunos conocimientos de Biología, Botánica y otras ciencias de la vida.

Por supuesto la Economía Clásica no nació con Adam Smith en 1723, pero no se puede negar la influencia de su obra *La riqueza de las naciones* - publicada en 1776 - en la consolidación de la Revolución Industrial, Química, Textil, etc. y del comercio asociado, actividades todas relacionadas con el alumbre, mercancía industrial internacional desde la antigüedad.

Newton y Leibniz seguidos por Euler, Lagrange, etc. también fueron recursos intelectuales con gran incidencia en el desarrollo del pensamiento abstracto racional de la Ilustración y sus consecuencias prácticas.

¿Que se puede decir sobre los recursos socio-económicos que dieron lugar a la Guerra Civil Inglesa de 1642, culminada con su Revolución Gloriosa en 1688, a la Independencia americana en 1776, a la Revolución Francesa en 1789, y a tantas otras guerras modernas europeas, que modificaron la vida social tanto como la Revolución Industrial y sus satélites?

¿Y de la Filosofía desde F. Bacon, Descartes y Spinoza hasta Kant?

Pero aplicando el segundo principio del *Symploké* de Platón (v. título Planteamiento: *Si todo está relacionado con todo, no se puede saber nada*), se descartan todos estos recursos intelectuales de alúmina en 1683.

## RECURSOS MATERIALES

A la hora de clasificar los Recursos Materiales a describir en este capítulo, resulta útil referir algún ejemplo de clasificación similar.

El concepto Recursos Minerales fue incorporado al léxico minero español recientemente - no existía hace cincuenta años, cuando solo se hablaba de Rocas, Menas y Minerales. Recurso mineral, según el Museo Geominero del IGME son : *“aquellas sustancias no vivas de origen natural y útiles para el hombre, ya sean de origen orgánico o inorgánico”*.

Antes de que el concepto Recurso Mineral se popularizase, las colecciones de Minerales de dicho Museo se exhibían clasificadas sistemáticamente: Elementos nativos, sulfuros, halogenuros, óxidos, etc. Hace unos años se añadieron unas vitrinas con paneles explicativos de los principales recursos minerales, con datos históricos, técnicos y económicos que complementan la información puramente científica de cada muestra.

Cinco vitrinas se dedican a los recursos metálicos, una a las rocas y minerales industriales y otra a los energéticos. En el panel de los recursos minerales de aluminio se mencionan diversos silicatos de aluminio y la alunita como potenciales nuevas “fuentes de alúmina”, incluyéndose muestras de andalucita, sillimanita y cianita de potencial muy inferior al de la alunita, cuyo interés histórico durante los pasados 5000 años se ignora. Además se afirma que un 85% de la bauxita se transforma en alúmina metalúrgica, cuando el valor real en 2014 fue el 94,3%.

El Museo Geominero del IGME no aportó nada sustancial a los criterios de clasificación de los Recursos Materiales de la alúmina en 1683.

Se buscó otra referencia en el libro titulado *Recursos de la Tierra: Origen, uso e impacto ambiental* (Craig et al 2007). La definición de *recursos* tampoco está muy lograda en este libro. En el *Prefacio* dice: “El término *recursos* se utiliza para referirse a los materiales, principalmente inorgánicos, que se extraen de la corteza terrestre –



litosfera, hidrosfera y atmósfera – y cuyo uso puede causar un impacto en esas partes de la corteza.” Se entiende que el libro trata de los recursos minerales y su impacto en la Atmósfera y la Hidrosfera, dudosas partes de la Corteza terrestre.

El título del capítulo 1º *“Minerales: los cimientos de la sociedad”* ya indica un cierto sesgo “mineralista”, que resulta curioso en un libro que en su título incluye el impacto ambiental, escrito por tres profesores de Geología de tres continentes distintos. Una cita anónima al principio de este capítulo 1º dice: *“Los recursos con como el aire; nadie les da importancia hasta que no los tienes”*, lo que da a entender que el aire no se considera un recurso, aunque resulte imprescindible en cualquier vida vegetativa y participe directamente en la mayor parte de los procesos de fabricación.

Esta realidad es marginada hasta por los especialistas en metales, cemento, energía eléctrica, productos químicos etc., que cuando describen sus recursos materiales no suelen incluir ni el agua ni el aire, como si fueran gratis o no fueran materiales. El aire no se considera recurso mineral no solo por estos autores, sino por casi nadie hoy día, lo cual no deja de ser curioso. Hace muchos años la Naturaleza se clasificaba en tres reinos: mineral, vegetal y animal. El aire ¿a qué reino pertenece? ¿O será que el nitrógeno, el oxígeno, el argón, el helio y demás gases industriales son materiales sintéticos? Por supuesto, en la introducción de dicho capítulo 1º se incluyen un par de cuadros con comentarios al efecto invernadero y al cambio climático, lo cual confirma la orientación de la publicación, al impacto ambiental del uso de los Recursos de la Tierra.

Que el agua es un recurso mineral natural es algo de dominio público, pero la potabilidad del agua mineral se garantiza con tratamientos industriales y la confusión entre lo mineral natural y lo material artificial es, entre muchas otras, causa de la no consideración del agua como recurso mineral - ni mucho menos recurso material en las descripciones generales de los procesos de fabricación. Y la afirmación anterior no pretende ignorar otras muchas realidades contrarias, como el que la energía geotérmica esté poniendo en valor el agua que inunda las minas abandonadas, o el que el tratamiento de las aguas residuales haya sido desde los primeros asentamientos humanos

objeto de preocupación económica o el que la disponibilidad de agua potable sea un indicador principal de desarrollo social.

Ya se está empezando a entender el viejo adagio de que *nada es gratis* y a aceptar que el que contamina paga, pero lejos de un alegato ecologista esta crítica quiere resaltar la importancia de la clasificación como criterio previo al análisis de cualquier conjunto de datos disponible, cuestión ya resaltada en el análisis de la Estructura de la tesis en el Planteamiento.

En el capítulo 1º del libro se incluye también un esquema de Categorías generales de los recursos de la Tierra con sus relaciones entre ellos (v. Fig. 18).

La figura pretende presentar el origen de los recursos a partir de la Hidrosfera y la Atmósfera que son entidades generadoras de un nivel superior, que dan lugar a ocho grandes categorías de recursos, las cuales en el texto se reducen a cuatro: energéticos, metálicos, no metálicos y agua-suelo. Esta clasificación tampoco es útil para los Recursos Materiales de la alúmina en 1684.

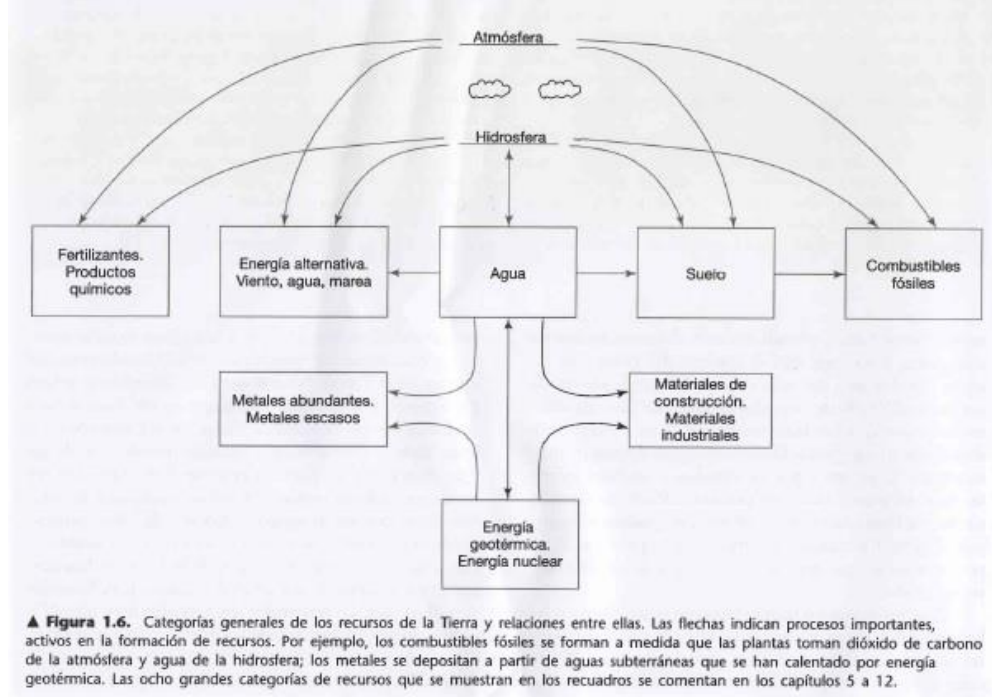


Fig. 17 Categorías de Recursos de la Tierra

*Materials in Eighteenth-Century Science* (Klein 2007), obra de Ursula Klein y Wolfgang Lefèvre, Investigadores senior del Instituto Max Planck para Historia de la Ciencia de Berlin, es una referencia imprescindible en esta tesis y fue leída un año después de su publicación por la editorial del MIT. Según su Introducción a la Parte I (p. 9) la obra es “una historia de las más significativas sustancias químicas europeas del siglo XVIII”, pero asumiendo la imposibilidad de rastrear cada material su enfoque se centra en: “los modos de identificación y clasificación de materiales usados por los químicos del s. XVIII”.

Quizá esta cita hubiera sido más oportuna en el capítulo inicial donde se analizó el Planteamiento de la tesis y se explicó su estructura, que pretende dar a esta tesis un carácter de Ontología de la alúmina, de cierta analogía a la ontología planteada por Klein y Lefèvre en su obra. O también en el capítulo de Recursos Intelectuales dedicados a los relacionados con la Química, pero Klein y Lefevre resaltan el papel de los criterios prácticos de clasificación, que impregnan los criterios lavoisierianos básicos para esta ontología de sustancias químicas (no de MATERIALES MINERALES, a pesar de la introducción que hace de los tres reinos). Lógicamente no menciona unos materiales fundamentales en el siglo XVIII como son los tejidos, pero si cubre sus tintes.

Tras estas incursiones infructuosas en busca de criterios de clasificación de recursos materiales, se adoptó la siguiente para los recursos materiales de alúmina disponibles en Europa en 1683:

### Sistemas de alumbre

- Clásico
- Medieval
- Moderno

### Materias primas

- La piedra de alumbre
- Las tierras de alumbre
- Las pizarras de alumbre

### Recursos energéticos

### Otros recursos materiales

### Sistemas de alumbre

Ya se ha dicho que la alúmina antes de la Ilustración era un subproducto del alumbre, y que Stahl en su *Fundamenta Chymiae* explicaba que se podía extraer añadiendo un álcali a un recipiente con una solución acuosa de alumbre. Por ello se ha decidido destacar - en un primer apartado - el alumbre y los sistemas que se empleaban en Europa para fabricarlo en 1683.

El conocimiento de la composición del alumbre que tenía Stahl en 1683 era muy limitado, pero su breve capítulo sobre el mismo no detallaba todos los conocimientos existentes. Procede citar aquí el título ALUMINA ET VITRIOLA de un libro del siglo XVI, dedicado a unas sales conocidas de antiguo: los vitriolos y los alumbres (el nominativo plural de *alumen* es *alumina*), que ya entonces se conocía que tenían alguna relación, por compartir un antecesor común que era el aceite de vitriolo, hoy conocido como ácido sulfúrico. “Los alumbres y los vitriolos” sería la traducción del título anterior y este título ya indica que existía más de un alumbre.

Desde una larga práctica científica - como dice Charles Singer en su Introducción a su obra sobre el alumbre (Singer 1948) - el nombre alumbre estaba asociado a un doble sulfato de aluminio y potasio o de aluminio y amonio o a una mezcla de los dos. Pero esta realidad no se conocerá debidamente hasta finales del siglo XVIII, por lo que este capítulo debería titularse "Los alumbres y sus sistemas de fabricación", pero esta cuestión se volverá a tratar en la Segunda Parte de la tesis, PROCESOS, en el capítulo dedicado a los Industriales de naturaleza química. En este capítulo se van a analizar los recursos empleados en la fabricación de los alumbres como una unidad genérica de productos.

Herbert Hoover (1874-1964), ingeniero de minas que fue presidente de EEUU, publicó en 1912 junto con su mujer, geóloga y latinista, la primera traducción al inglés de uno de los textos minero-metalúrgicos renacentistas más famoso, *De Re Metallica* de Georg Bauer "Agricola" (1494-1555), publicado en 1556, después de la muerte del autor, por retraso del editor con las xilografías que lo embellecen.

En la nota al pie nº 10 del Libro XII los traductores comentan:

*10 There are three methods of manufacturing alum described by Agricola, the first and third apparently from shales, and the second from alum rock or "alunite." The reasons for assuming that the first process was from shales, are the reference to the "aluminous earth" as ore (venae) coming from "veins," and also the mixture of vitriol. In this process the free sulphuric acid formed by the oxidation of pyrites reacts upon the argillaceous material to form aluminium sulphate. The decomposed ore is then placed in tanks and lixiviated. The solution would contain aluminium sulphate, vitriol, and other impurities. By the addition of urine, the aluminium sulphate would be converted into ammonia alum. Agricola is, of course, mistaken as to the effect of the addition, being under the belief that it separated the vitriol from the alum; in fact, this belief was general until the latter part of the 18<sup>th</sup> Century, when Lavoisier determined that alum must have an alkali base. Nor is it clear from this description exactly how they were separated. In a condensed solution allowed to cool, the alum would precipitate out as "alum meal," and the vitriol would "float on top" in solution. The reference to "meal" may represent this phenomenon, and the re-boiling referred to would be the normal method of purification by crystallization. The "asbestos" and gypsum deposited in the caldrons were no doubt feathery and mealy calcium sulphate. The alum produced would, in any event, be mostly ammonia alum.*

*The second process is certainly the manufacture from "alum rock" or "alunite (the hydro-sulphate of aluminium and potassium), such as that mined at La Tolfa in the Papal States, where the process has been for centuries identical with that here described. The alum there produced is the double basic potassium alum, and crystallizes into cubes instead of octahedra, i.e., the Roman alum of commerce. The presence of much ferric oxide gives the rose colour referred to by Agricola. This account is almost identical with that of Biringuccio (n., 4), and it appears from similarity of details that Agricola, as stated in his preface, must have "refreshed*

his mind" from this description ; it would also appear from the preface that he had himself visited the locality.

*The third process is essentially the same as the first, except that the decomposition of the pyrites was hastened by roasting. The following obscure statement of some interest occurs in Agricola's De Natura Fossilium, p. 209 : ". . . alum is made from vitriol, "for when oil is made from the latter, alum is distilled out (expirat). This absorbs the clay " which is used in cementing glass, and when the operation is complete the clay is macerated "with pure water, and the alum is soon afterward deposited in the shape of small cubes."*

*Assuming the oil of vitriol to be sulphuric acid and the clay "used in cementing glass" to be kaolin, we have here the first suggestion of a method for producing alum which came into use long after. "Burnt alum" (alumen coctum). Agricola frequently uses this expression, and on p. 568, describes the operation, and the substance is apparently the same as modern dehydrated alum, often referred to as "burnt alum."*

El ultimo párrafo de la nota, guarda relación con la conclusión principal de esta tesis, pero Hoover terminó su brillante análisis de los procesos clásicos de producción de alumbre, sin relacionarlos con la producción ilustrada de alúmina.

En esta nota los Hoover se extienden aún otro tanto con una subnota dentro de esta Nota 10, tituladas NOTAS HISTORICAS, que es un resumen de la historia del alumbre que cualifica a los traductores como historiadores. Se destaca al final la mención a la llamada de Isabel I para competir tecnológicamente con el Papa y Felipe II:

*Elizabeth (see Note on p. 283) invited over "certain foreign chymistes and mineral masters" and gave them special grants to induce them to "settle in these realmes."*

La clasificación de los sistemas de alumbre de esta tesis coincide parcialmente con la de los Hoover:

*Clásico:* Refino de la piedra de alumbre (Ver Grabados de la tostación y disolución de la alunita).

*Medieval:* Lixiviación natural de lignitos y tierras alumbrosas. Citas de Andorra y Logroño.

*Moderno:* Lixiviación forzada de tierras y pizarras alumbrosas. Ver Parte Tercera: Sistemas de alúmina en 1808.

### Materias primas

Las materias primas del alumbre en 1683 eran la piedra de alumbre, las tierras de alumbre y las pizarras de alumbre.

#### La piedra de alumbre (alunita)

*Piedra de alumbre* ha sido el nombre de la alunita hasta bien avanzado el siglo XX en España (Rodríguez Mourelo, 1903) y *alumstone* sigue siendo su nombre común en inglés. Hoy sigue utilizándose este nombre en la industria de desodorantes “ecológicos” para designar al alumbre refinado - con un nombre más atractivo comercialmente que el de sulfato doble de aluminio y potasio, sobre todo, cuando la mayor parte de los desodorantes en spray son demonizados por su contenido de clorhidrato de aluminio, supuestamente cancerígeno en algunas aplicaciones cutáneas.

Otro error común aparece frecuentemente en webs dedicadas al comercio de minerales donde se dice que fue primeramente observado en el siglo XV en Tolfa, un lugar cerca de Roma. Dos mil años antes lo había sido en Phocea, hoy un lugar de Siria y más de cien mil años antes en alguna afloración de salmueras alumbrosas de alguna formación volcánica del Sahel, por ejemplo. Es un mineral filoniano de origen hidrotermal que se forma por la acción de soluciones sulfúricas con feldespatos ricos en potasio.

La piedra de alumbre era a principios del siglo XVIII el mineral designado por J.C. Delametherie como *aluminilite* y como *alunite* por F. S. Beudant en 1824. Su fórmula química es  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ . Es un mineral análogo a la Jarosita, en el que el aluminio sustituye al  $Fe^{3+}$ .

#### Las tierras de alumbre (ampelitas)

La tercera acepción de la palabra *tierra* en el DLE es “*material desmenuzable de que principalmente se compone el suelo natural*” y la quinta “*terreno dedicado al cultivo o propio para ello*”.

La Edafología estudia la composición y naturaleza del suelo tipos de suelos o tierras vegetales, según los componentes de cada horizonte.

La obra *Agricultura General* del autor Gabriel Alonso de Herrera publicada en 1818 toma como base un libro de dicho autor publicado en 1513 en Alcalá de Henares y es una referencia valiosa para el conocimiento de los orígenes de la Edafología científica. En esta revisión se distinguen cuatro clases de suelos vegetales: arcillosos, arenosos, calcáreos y aluminosos.

Las tierras, para los ingenieros de minas del Renacimiento eran menas de minerales, como las piedras, pero más fáciles de beneficiar aunque fueran menos rentables. En concreto las tierras de alumbre se explotaron mucho después que la piedra de alumbre pero tuvieron un gran interés económico en toda Europa. Por ello este libro - recomendado por la profesora del Depto. de Lengua Española de Oviedo, divagando sobre la etimología de alumbre - fué un hallazgo para la tesis.

Como se ha comentado en el capítulo anterior la escasez en el suministro de alunita obligó a principio de la Edad Moderna a buscar otros recursos minerales y había un tipo de tierras conocidas hoy como ampelitas, por su utilización en la preparación de viñedos, de las que se obtenía alumbre apilándolas en eras al aire libre y provocando una combustión lenta en ausencia de oxígeno.

La presencia de piritita en estas tierras producía anhídrido sulfúrico que - reaccionando con la humedad ambiental - producía ácido sulfúrico que lixiviaba los feldespatos presentes en la tierra y daba lugar a una solución de alumbre que era evaporada posteriormente. Una vez alcanzada la concentración adecuada se dejada cristalizar en grandes cubas de madera, donde se formaban unos cristales gigantes de alumbre potásico octaédrico.

No se va a profundizar en el origen geológico de los suelos, pero se puede mencionar la curiosidad que supone que las bauxitas lateríticas, materia prima actual fundamental del aluminio, fueran originalmente un cierto tipo de suelo cuyo transporte y acumulación dio lugar a los actuales yacimientos.



## Las pizarras de alumbre

Este recurso mineral resultó laborioso de identificar pues la búsqueda por los conceptos *pizarra alumbrosa* o *pizarra de alumbre* en la literatura geológica en español solo produjo como resultado - buscando en la Biblioteca Histórica de la Escuela de Minas de Madrid - alguna publicación de Andrés del Río en Méjico. En el Museo del IGME no existe ninguna muestra catalogada como pizarra de alumbre.

En cambio usando cualquier buscador en Internet la búsqueda de *alum shale* produce abundantes resultados que permiten identificar el recurso empleado en el siglo XVIII para el alumbre. Esta diferencia entre el inglés y el español es un problema de léxico parecido al que produce la traducción de *gas shale* como *pizarra de gas* y que los geólogos puristas del léxico, prefieren llamar con el modernismo *lutita*, aunque esta palabra no esté registrada todavía en la 23ª edición del DLE y reservan la palabra *pizarra* para traducir *slate*.

*Shale* no equivale a *pizarra*, aunque se traduzca habitualmente así o como *esquistos*, pero la definición del diccionario online de la universidad de Oxford no añade ninguna luz al problema, aunque especifica que *shale* puede ser dividida fácilmente en pedazos frágiles, característica que comparte con *slate*. Pero en el caso de *slate* especifica que los pedazos son finos y planos, mientras que en el caso de *shale* da a entender que son más gruesas, pues usa el término *slab* sin adjetivar, para referirse a los pedazos en que se puede dividir, lo que podría traducirse por *losa*.

Lo anterior recuerdó al autor una escena vivida durante el curso Repsol de hidrocarburos no convencionales, celebrado en la Escuela de Minas de Oviedo en 2014. Ocurrió en una salida de campo a la playa de Vega en Ribadesella cuando el geólogo José Ant<sup>a</sup> Saez de Santamaría, profesor en dicho curso, hizo una experiencia de *fracking* manual mostrando como las lutitas se desmenuzaban fácilmente y de sus fracturas se desprendía un olor a gas natural. *Shale* es un roca menos metamorfizada que *schist* y quizá en español la traducción de ambas debería ser *ampelita*, una pizarra blanda y aluminosa, según el DLE o quizá traducir *shale* como *lutita*, pero se deja este debate para los comités de nomenclatura de Petrografía.

Este recurso mineral sustancial o geológicamente era el mismo que las tierras de alumbre anteriores, pero requería una extracción más compleja, pues con las tierras el arranque era una mera recolección superficial y las pizarras requerían arranque con explosivos.

¿Y los demás recursos de la Tierra? Tratando esta tesis de la alúmina y siendo en 1683 el alumbre su antecesor único, aunque ya se supiera extraerlo por síntesis de otros recursos distintos de la alunita, deberían mencionarse en este capítulo otras rocas de alúmina, por ejemplo, los feldespatos y las arcillas, lo cual se deja para el capítulo posterior sobre Procesos industriales.

Los vitriolos, consecuencias de los drenajes ácidos de la minería de sulfuros, en denominación moderna, y también todas las sales solubles, cuyo proceso minero es muy similar al de la alunita, serían objeto de interés para esta tesis, pero pasan a engrosar la lista de proyectos post-doc.

La mineralurgia de la sal común, así como el cloruro potásico y los carbonatos de sodio y potasio destacan como metales objeto de interés industrial común y específico para esta tesis, pero se consideró conveniente aplicarles el segundo principio de discontinuidad de Platón, como a Otros recursos intelectuales.

### Recursos energéticos

Podría pensarse que la alúmina y la energía no tienen ninguna relación pero, adelantando acontecimientos, se puede decir que la razón final de ser de la alúmina en la Ilustración fue el aislamiento del aluminio, que fue posible gracias a una nueva fuente de energía, la electroquímica. En este capítulo se hará una descripción somera de los recursos energéticos existentes en 1683, que guardan una relación con la aparición de la nueva fuente de energía electroquímica.

La relación de la alúmina con la energía electroquímica dista mucho de ser evidente y lo mismo se podría argumentar de su relación con el vapor de agua - revolucionaria forma de energía de la Ilustración, junto con el carbón - tras cuya aplicación por Newcomen en la

extracción de agua de las minas de Gales en los albores del siglo XVIII ya nada volvió a ser como antes.

Pero aún se podría argumentar hoy, que la disponibilidad de un nuevo recurso energético no trae asociados necesariamente cambios revolucionarios y será éste análisis lo más relevante de este capítulo.

Una descripción de los recursos energéticos disponibles en 1683 en Europa podría ser:

- la fuerza animal
- la leña y sus derivados, principalmente el carbón de leña
- las corrientes de agua, naturales y artificiales
- el sol y sus recursos derivados, principalmente el viento
- el carbón de piedra, todavía incipiente

El petróleo y sus derivados, algunos de ellos empleados en industrias tan exigentes como la de la guerra desde tiempo inmemorial no se mencionan en Europa por su irrelevancia en dicho momento histórico.

Las corrientes de agua eran la forma de energía más utilizada y la madera y la piedra los materiales más empleados en la construcción de los ingenios que se empleaban para utilizar la energía hidráulica: ruedas, presas, bombas, molinos, almazaras, trapiches, etc.

El análisis exhaustivo de las razones que llevaron a esta situación energética en Europa en 1683 cae fuera del alcance de la tesis, pero su dedicación a un nuevo material en una época en la que la máquina de vapor revolucionó la industria, hace que se considere oportuno un breve análisis histórico de la asociación de nuevas formas de energía con nuevos materiales e incluso con revoluciones sociales.

### El calor del fuego: del carbón vegetal al mineral

El impulso a la navegación que supuso el dominio de las rutas a las Indias Occidentales y Orientales durante el siglo XVI aumentó la demanda de madera para la construcción de naves. Esto ya supuso alguna dificultad al gobierno de Felipe II para construir la Armada enviada a Inglaterra en 1588, tras cuya derrota Inglaterra toma el relevo en el dominio marítimo. Quizá esta escasez llevase a Felipe II a conceder la licencia de explotación del carbón en Arancés-Castrillón (Asturias) según Luis Adaro en el tomo I de sus Datos y Documentos para la Historia de la Minería Asturiana (1981).

Pero en Inglaterra - durante sus guerras con Francia en los años 1620<sup>10</sup> - también escaseaba la madera, lo que ya había obligado antes a algunas vidrierías monásticas del siglo XVI a usar el carbón de piedra, más económico (Crossley 1998, 167-179). Pero el uso doméstico y las ferrerías también eran grandes consumidores de carbón vegetal y leña, de forma que Inglaterra empezó a importar madera de Escandinavia y más tarde de las colonias americanas.

Además de la fuente térmica de la leña estaba la energía hidráulica, que había alcanzado un gran desarrollo mecánico a finales del XVII. En *Máquinas, una historia ilustrada* (Strandth 1982, 102) se puede ver un grabado de la gigantesca máquina de Marly, construida en el Sena hacia 1680, para alimentar los jardines de Versalles. Trece ruedas hidráulicas hacían funcionar 235 bombas, que bombeaban hasta 5.000 m<sup>3</sup> de agua del río cada día.

La obra de F. Habashi *Aqua Science through the ages* (Habashi 2010) es una referencia interesante para profundizar en la situación de la energía hidráulica a finales del s. XVII.

En cuanto a la energía eólica es muy probable que el hombre paleolítico utilizase la fuerza del viento para navegar en embarcaciones sencillas y es difícil que sea pura coincidencia que en la isla griega de

---

<sup>10</sup> Extraído de Environmental History Resources [http://www.eh-resources.org/the-role-of-wood-in-world-history/#\\_ednref14](http://www.eh-resources.org/the-role-of-wood-in-world-history/#_ednref14)

Mikonos existan molinos de viento con doce velas latinas dispuestas entre un mástil casi horizontal y doce radios de madera, como doce botavaras (Strandth 1982, 109).

Pero para analizar la relación entre nuevas formas de energía y la aparición de nuevos materiales, mencionada al principio de este capítulo, se va a emplear como referencia la obra *Agua, Máquinas y Hombres en la España Preindustrial* (Vélez 2013), escrita por Iván Vélez Cipriano (Cuenca 1972), que es arquitecto y filósofo de la Escuela de Gustavo Bueno.

Esta obra contiene una extraordinaria descripción de los ingenios de agua existentes a finales del XVII en Europa. En la Introducción de dicha obra (pp. 6-11), usando la Teoría del Espacio Antropológico de Bueno y apoyándose en las obras *Tratado de mecánica práctica y economía política* de Charles Babbage (1791-1871), *Técnica y Civilización* de Lewis Mumford (1934), *Hombres, máquinas e historia* de Samuel Lilley (Buenos Aires 1957), analiza el desarrollo de los ingenios hidráulicos y principalmente la rueda de agua, como antesala de la “revolución industrial” ilustrada.

El autor ratifica “*la tesis que mantenemos desde el Materialismo Filosófico, que la ciencia nace a partir de técnicas previas que posteriormente son sistematizadas*” (p.10), pero reconoce con Babbage, Mumford y Lilley que el vapor supuso un cambio tecnológico transcendental, que desplazaría la madera por el acero, concluyendo que lo mismo harán posteriormente las nuevas energías del petróleo y la electricidad con los plásticos y el aluminio como nuevos materiales.

A. Nieto en su artículo (Nieto 1996, 13) cita a Bertrand Gille (1920-1980), quien dice en su *Histoire des Techniques* (p. 19) que los sistemas clásicos estaban basados en el agua y la madera, los industriales en el vapor, el carbón y el hierro y los contemporáneos en la electricidad y la química.

La extrapolación de las reflexiones anteriores a la energía electroquímica y a la alúmina durante la Ilustración, cuya evidencia se cuestionó al principio de este apartado, llevaría a profundizar en el Cierre Categorical (otra teoría fundamental de G. Bueno) de la

Hidráulica, que es evidente que se produjo con posterioridad al desarrollo tecnológico de los ingenios hidráulicos.

En cualquier caso la energía eléctrica fue un recurso al que se llegó después de dominar la energía del vapor de agua, previo reconocimiento de muchos de sus principios con la energía electroquímica, como se dijo en el capítulo Electricidad y Magnetismo del Título Recursos Intelectuales. Y se puede terminar este apartado repitiendo que la aplicación y desarrollo de la energía electroquímica permitió vislumbrar la última razón de ser de la alúmina en la Ilustración: el aluminio.

### Otros recursos materiales

Los álcalis empleados entonces eran el llamado álcali vegetal, hoy conocido como hidróxido potásico, el mineral, hidróxido sódico, y el animal, hidróxido amónico. Cualquiera de los tres iones de potasio, sodio y amonio es capaz de desplazar al aluminio de sus soluciones, que se deposita en forma de gel de hidróxido de aluminio en el fondo del recipiente, como ya explicaba Stahl en 1683.

Las materias primas de la antigüedad para los álcalis eran los carbonatos correspondientes, de los que se extraían por reacción con cal apagada hasta finales del siglo XIX. Los tres álcalis fueron fundamentales en la producción del alumbre mucho antes de la Ilustración y también lo serían para la producción de alúmina en dicho periodo.

El agua y el aire siguen sin destacarse especialmente entre las materias primas, ni siquiera entre los recursos materiales necesarios en la metalurgia ni en la mineralurgia, aunque cuestiones como el cambio climático, o las desigualdades en el desarrollo económico evidencien cada vez más que “no hay nada gratis”, ni siquiera el aire y menos el agua.

No obstante y admitiendo que el aire y el agua merecerían un capítulo dedicado a su relación con el alumbre, es evidente que los recursos tratados en los capítulos anteriores fueron más relevantes.

## SEGUNDA PARTE: PROCESOS DE DESARROLLO DE LA ALUMINA EN LA ILUSTRACIÓN

Los Recursos para alúmina en 1683 se irán transformando a lo largo de la Ilustración en muy distintos campos, tanto teóricos como prácticos. Todos estos desarrollos o transformaciones dan lugar a procesos distintos que se analizan en esta Segunda Parte. El primer análisis es su clasificación para lo que se adopta un criterio binario similar al empleado con los Recursos, que se clasificaron en Intelectuales y Materiales. Los procesos de transformación de los recursos se clasifican Científicos e Industriales.

Se presentan en segundo lugar los Procesos Científicos - los que transforman los recursos intelectuales - teniendo en mente que la alúmina en 1808 pertenecía más al mundo de la teoría que de la práctica, lo que confirma la hipótesis del materialismo filosófico, mencionada dos páginas atrás de *“que la ciencia nace a partir de técnicas sistematizadas”*.

La bauxita como mena de aluminio no se identificará hasta 1821, pero hasta 1856 Le Chatelier no patenta su proceso carbotérmico en Paris y hasta 1892 Bayer no hace lo propio en con el suyo de extracción con sosa. No obstante, en la Parte Tercera SISTEMAS se identificará un proceso de fabricación industrial de alúmina anterior, a partir de arcilla, ácido sulfúrico y sosa.

### PROCESOS INDUSTRIALES

La Técnica y la Artesanía se van convirtiendo en Industria con la transformación de los conocimientos prácticos en conocimientos teóricos y científicos - con la extracción de teorías de la práctica. Esta realidad tiene un relato muy claro en la Ilustración con la alúmina. La alúmina formaba parte del conocimiento práctico desde la antigüedad y se usaba como principio activo en múltiples aplicaciones ya mencionadas. Durante la Ilustración no aumentan extraordinariamente ni los procesos de obtención ni las aplicaciones de los productos de alúmina, pero si se mejora el conocimiento de los productos y procesos

en los que interviene – como materia prima o como producto - conocimientos que a su vez irán retroalimentando nuevas mejoras.

El término industria se puede asociar especialmente a la Ilustración por el desarrollo durante la misma de la llamada 1ª Revolución Industrial, que tuvo lugar en primer lugar en Inglaterra entre 1760 y 1830 aproximadamente. Pero se emplea también en Arqueología y Prehistoria para denominar recursos y procesos como los relacionados con la industria lítica, mucho más lejana en el tiempo. Según el Online Etymology Dictionary la palabra francesa *industrie* con el significado de “actividad y aptitud” se usa en el s. XIV, pero ya en latín antiguo el adjetivo *indostruus* significaba “diligente” de *indo* “en, dentro” + la raíz de *struere* “construir”. El significado de “comercio, manufactura” se registra en inglés en 1560 y el de “trabajo sistemático” es de 1610. Estas razones apoyan el cambio del calificativo materiales de los recursos a industriales en los procesos.

Este título dedicado a los Procesos Industriales se divide en los siguientes capítulos, atendiendo a la naturaleza de las industrias relacionadas con cada uno:

- Energéticos
- Minero-metalúrgicos
- Químicos
- Textiles
- Otros

### Energéticos

En el capítulo Recursos Energéticos de la Primera Parte se comentó la transición del carbón de leña al de piedra por razones económicas ya en algunas industrias del siglo XVI como el vidrio, y se mencionó la escasez de madera en la Europa de finales del siglo XVII. Pero a mitad del siglo XVIII dicha escasez se agudizó produciéndose una crisis energética. La respuesta consistió en aumentar el uso del carbón de piedra, decisión que produjo rechazo tanto en usuarios domésticos - por el mal olor -, como industriales,- por las distintas condiciones de operación - y en algún territorio en Inglaterra tuvo que imponerse por



Real Decreto (Ponting 1992, 279). Este cambio de la leña al carbón tendría consecuencias de largo alcance.

Ese cambio se retrasó en el resto de Europa. En concreto en España la primera ferrería en usar carbón mineral fue la de San Blas en Palencia en 1847. El general Elorza, tecnólogo adelantado de nuestra revolución industrial, puso en marcha en 1833 (García Montoro 1978) los hornos altos de la Ferrería de la Concepción o del Río Verde en Marbella con carbón de leña, elección de combustible que pudo ser una de las causas del cierre prematuro de la ferrería, que en 1865 tenía un coste de 633 reales/tonelada cuando en La Felguera costaba 349, según Jordi Nadal (1975).

El cambio de combustible fue una de las causas de la 1ª Revolución Industrial desarrollada en Inglaterra entre 1760 y 1830. El motor principal de la Revolución Industrial fue la máquina de vapor, quizá la máquina por antonomasia hasta hoy, cuestión que merece una breve glosa.

De los ingenios de madera y agua medievales y del comienzo de la modernidad se pasará a las máquinas de acero y vapor de agua, que cambiarán la Naturaleza y la Humanidad (el Espacio Antropológico de Gustavo Bueno) más de lo que había cambiado en los pasados 3000 años. La palabra inglesa *engineer*, según el *Online Etymology Dictionary (OED)* aparecen en el siglo XIV para referirse al “constructor de ingenios militares”. Se registra con carácter civil, refiriéndose a obras públicas a partir de 1600 y con el sentido actual no aparece hasta el siglo XIX.

La palabra española *ingenio* mantiene en el DLE las acepciones máquina o artificio mecánico y/o de guerra, pero estas acepciones han caído en desuso y en las definiciones de *ingeniero* y de *ingeniería* ya no aparece la palabra *ingenio*. Esto nos lleva a la conclusión de que *engineer* e *ingeniero* - en el sentido actual - están ligadas a la aparición de la máquina de vapor, de ahí lo de considerar a la máquina de vapor como máquina por antonomasia. Y se podría cerrar esta glosa con otra referencia del OED que afirma que la última acepción de *engineer*, registrada en inglés americano a partir de 1832, con la locomotora de vapor en pleno esplendor, fue *conductor de locomotora*, que en español es maquinista.

En cuanto a la relación de este cambio energético con la alúmina, no cabe duda que es indirecta, aunque es evidente la interrelación de los siguientes desarrollos llevados a cabo durante la Ilustración: máquina de vapor, industria textil, estampación de telas, sales de alúmina. Pero la alúmina guarda una relación muy directa con otra nueva fuente de energía, desarrollada también durante la Ilustración, la energía electroquímica, que como ya se ha mencionado sirvió a Humphry Davy para vislumbrar el aluminio en 1808, lo que para esta tesis constituye la razón de ser final de la alúmina en la Ilustración.

A Michael Faraday, discípulo y continuador de Davy, le correspondería posteriormente, desarrollar la electrolisis y ser uno de los iniciadores del electromagnetismo que, después de innumerables desarrollos, permitiría en 1886 a Hall en París y a Heroult en Oberlin OH, la producción industrial de aluminio por electrolisis ígnea de la alúmina. La industria del aluminio, primera entre las metalúrgicas electrointensivas, parece estar ahora cerrando un hipotético nuevo ciclo de desarrollo tecnológico con una nueva fuente de energía, la batería aluminio-aire, cuyas expectativas han permitido plantear recientemente (Hyland 2014) que un coche eléctrico podría viajar 2000 km sin recargar la batería, lo que permitiría vaticinar la desaparición del motor de combustión interna en 2025.

Este capítulo se divide en dos apartados, uno dedicado al vapor de agua y otro a la industria electroquímica.

### El vapor de agua

Denis Papin (1647-1714), médico francés, había colaborado con Christian Huygens en ensayos sobre el vacío en los años 1670, pero no encontraron apoyo en el gobierno francés para continuar y en 1687 Papin se fue a trabajar a Marburg, Alemania donde ejerció de profesor y continuó con sus experimentos al servicio del Duque de Hesse. Leibniz (1646-1716) llegó a afirmar de él que era el primer hombre que había entendido lo que era un gas. (Strandth 1978, 114). Experimentando con vapor de agua descubrió que se generaba un vacío condensando el vapor y tuvo la visión de que - con un método basado en ello - sería fácil construir ingenios para mover los molinos.

La primera bomba de agua accionada por vapor que construyó (Strandth p. 115) funcionaba con presiones de vapor superiores a la atmosférica y consiguió hacer funcionar las fuentes del jardín del Duque, pero las tuberías no resistían la presión y no encontró ferrerías capaces de resolver el problema. Finalmente decidió mudarse a Londres hacia 1704 donde Thomas Savery (1650-1715) había patentado en 1698 una bomba de agua de vapor, que había bautizado como “el amigo del minero” y estaba sufriendo las mismas deficiencias que Papin para comercializar su invento.

Thomas Newcomen (1663-1729), herrero de Cornualles, conocía los problemas del achique de agua en las minas de carbón del condado de Stafford en el centro de Inglaterra; en los años 1690 estaba al corriente de los trabajos de Papin y se interesó por el negocio de la bomba de agua accionada por vapor. En 1702 pidió consejo a Robert Hooke (1635-1703) de la Royal Society, pero no fue hasta 1712 cuando - asociado con Savery - construyó la primera máquina de vapor atmosférica, que llamaban “de fuego y aire” y que conseguía aplicar el vacío, aquel “poder de la nada” - reconocido por Von Guericke en 1656 en su célebre experimento con cuatro caballos en Magdeburg, que no consiguieron separar dos hemisferios a los que se les había extraído el aire. Una correcta interpretación científica del funcionamiento de la máquina de vapor de Newcomen tardaría en llegar, pero los historiadores de la tecnología le atribuyen el papel de pionero de la Revolución Industrial.

James Watt (1736-1819) inventor escocés, fue su continuador. En 1757 instaló en la Universidad de Glasgow un taller de instrumentación en el que recibió en 1764 una maqueta de la máquina de Newcomen para reparar. Al repararla se le ocurrió reciclar el vapor, reduciendo el consumo de carbón a un tercio. Se asoció en 1768 con el profesor de Física Joseph Black y con el industrial químico John Roebuck y fabricaron el primer prototipo que patentarían el año siguiente, aunque la empresa quebraría en 1772 - año en el que asoció con el industrial Matthew Boulton, sociedad que duraría veinticinco años y cuyos logros justifican que hoy a la unidad de potencia en el sistema internacional se la conozca como watio.

### La energía electroquímica

Aparte de la hipotética Pila de Bagdad de hace 2000 años, resulta difícil encontrar dispositivos precursores de la pila de Alessandro Volta (1745-1827), como se ha hecho con la máquina de vapor de Watt. En el capítulo de los procesos científicos físicos, que se verá más adelante en esta segunda parte, se profundizará en los antecedentes teóricos de la pila de Volta.

Desde una consideración de la electricidad como proceso industrial el principal antecedente de la pila de Volta serían el condensador, el *electróforo*, los vapores eléctricos, aparatos y conceptos que en la segunda mitad del siglo XVIII eran recursos que hoy llamaríamos de física experimental. Incluso el uso de ranas como "*electrómetros*" de corrientes débiles, conocido desde 1791 por la publicación del médico Aloisio Galvani (1737-1798) sobre la electricidad animal, no había sido relevante. A pesar de sus controversias con Galvani, Volta asumió su hipótesis del carácter pasivo de los animales, en sus estudios de las corrientes eléctricas débiles durante varios años (Pancaldi 2003).

Al final de su vida Volta consideró 1796 como un hito en el camino que le llevó al descubrimiento de la pila eléctrica (Hoepli 1918). En ese año decidió usar un medidor de las corrientes débiles similar al que usó William Nicholson (1753-1815) en 1788, que en cierto modo se basaba en un condensador suyo anterior. Este instrumento - mucho más sensible que las ancas de rana - le permitió afrontar su controversia con Galvani con mejor fundamento y terminaría guiándole a la construcción de la batería eléctrica a finales de 1799.

Se considera pertinente resaltar antes de cerrar este capítulo el papel que tuvo la pila voltaica en las generaciones del siglo XIX de filósofos naturales, físicos, médicos, fabricantes de instrumentos y curiosos en general. La electricidad que en 1790 no había pasado de ser una curiosidad teórica con escaso interés - aparte del casi lúdico de ilustrados como Benjamin Franklin (1706-1790) - despertó un inusitado interés después de que en Marzo de 1800, Volta decidiera informar de sus resultados a la Royal Society, noticia que se difundió por Europa en medio año.

En los años 1820 el interés por la electricidad de las profesiones anteriores ya era febril (Pancaldi 2003) - interés que culminaría con la bombilla de luz de Edison en 1880 y seis años más tarde con los procesos electroquímicos de Hall y Heroult para obtención de aluminio.

### Minero-metalúrgicos

Las razones que han justificado la inclusión del capítulo dedicado al desarrollo de las máquinas de vapor, sirven para justificar este dedicado al nuevo proceso de fabricación de hierro - implantado también en Inglaterra a principios del siglo XVIII - que es el otro gran antecesor de la 1ª Revolución Industrial. Y este nuevo proceso también está asociado al cambio de combustible mencionado en el capítulo anterior, pero ahora aplicado a la producción de hierro.

El hierro era escaso y costoso y la producción en Inglaterra estaba cayendo porque sus bosques no podían suministrar suficiente carbón vegetal al finalizar el siglo XVII. El problema era que el carbón mineral no servía para los incipientes hornos altos - que iban ganando en altura con el carbón vegetal y las soplantes hidráulicas. Con carbón mineral la marcha del horno alto era una pesadilla, por atascos de la carga. Así que las ferrerías necesitaban madera desesperadamente. En las regiones donde la madera era escasa y el carbón abundante los maestros herreros experimentaban con carbón como combustible, pero sin éxito (Oosthoek 1998).

Abraham Darby (1678-1717) a principios del siglo XVIII consiguió la transformación del carbón en cok, material cuya porosidad resolvía los atascos continuos con carbón de piedra. La porosidad del cok hacía que la carga de mineral y de cok fuera permeable a la corriente ascendente de aire, lo que permitía su descenso sin problemas.

El cok preparado por Darby no fue un descubrimiento propio pues el cok de carbón era usado por los fabricantes de cerveza en la tostación de la malta y Darby lo conocía desde su juventud – cuando trabajó como aprendiz en una firma de Birmingham que fabricaba molinos de latón para la malta. En 1702 inició un negocio en Bristol de fabricación de utensilios de latón y tras un viaje a Holanda - donde vió fabricar grandes potes de cocina de latón por fundición en arena,

concibió la idea de hacerlas de hierro fundido, que serían más baratas (Raymond 1984), sobre todo si conseguía hacerlas con carbón de piedra.

A su vuelta a Bristol hizo unas pruebas de fundición de potes de hierro de espesor fino y buscó un sitio en el oeste de Inglaterra donde establecerse. Lo encontró en un pequeño pueblo llamado Coalbrookdale en Shropshire, donde alquiló un viejo horno alto abandonado y se mudó allí en 1707. No se conocen exactamente las razones por las que eligió Coalbrookdale pero se suele decir que sabía que aquel carbón tenía poco azufre, que era otro problema conocido para hacer hierro con carbón. Se dice también que este carbón le pudo resultar a Darby parecido al que él recordaba de las fábricas de cerveza que conoció en su juventud y que podría servir para el horno alto.

En su primer año en Coalbrookdale, Darby puso a punto la coquización del carbón, copiada de los maestros cerveceros que a mediados del XVII habían conseguido fabricar aquellos “coaks” - especie de escorias que quedaban después de quemar el carbón en montones cubiertos de tierra - que empleaban los cerveceros en el tueste de la malta porque la endulzaba. También puso a punto en 1708 el método de fundición con cajas de arena para fabricar potes de cocina de hierro colado, similar al que había visto en Holanda para potes de latón y registró una patente que no se ha conservado.

Y el 4 de Enero de 1709 se hizo la primera colada de arrabio en Europa con cok. Su coste de producción de hierro colado con cok era dos tercios del coste con carbón vegetal (Simpson 1997, p. 154). La noticia tardó en extenderse pero la fundición de hierro de Coalbrookdale - dirigida por los sucesores de Abraham Darby - llegó a tener siete hornos y se convertiría en el centro neurálgico de la industria del hierro británica del siglo XVIII.

Los potes de cocina de Darby finalmente inundarían el mercado inglés y el de sus colonias y serían la primera aplicación del nuevo hierro al cok, cuya importancia económica sería pronto superada por los procesos de producción de acero a partir de dicho arrabio, con aplicaciones novedosas como el primer puente de hierro europeo, hecho en la vecindad de Coalbrookdale por Abraham Darby III en 1776.

La obtención de hierro con carbón de piedra no solo contribuyó a superar el estancamiento de la economía inglesa sino que multiplicó la demanda de carbón, que obligó a hacer frente a otro problema también antiguo del carbón, el de que sus minas cada vez eran más profundas y el achique del agua requería bombas más potentes. El primer “ingenio atmosférico” de Newcomen, entraba en funcionamiento en Dudley, a 30 km de Coalbrookdale en 1712, en una de las mayores conjunciones de oportunidades de la historia de la Tecnología.

Los hallazgos de Darby y Newcomen, cuyos nombres fueron superados por sus continuadores, darían una ventaja considerable a Inglaterra sobre sus competidores continentales en unos procesos básicos, lo que permitió a los británicos entrar en la verdadera Edad del Hierro - que junto con el vapor añadieron a la economía mundial una decisiva componente industrial. La Unesco concedió en 1986 la categoría de Patrimonio de la Humanidad a Coalbrookdale, entre otros criterios porque “su alto horno es una pieza maestra del genio creativo del hombre”.

Se podrían citar otros avances en tecnología minera y metalúrgica del siglo XVIII que se pueden encontrar, por ejemplo, en las exhaustivas monografías sobre historia de la Tecnología de Charles Singer (1876-190), Maurice Daumas (1910-1984) o Francisco Ayala (1948-2004), pero se deja la búsqueda para el lector. En cambio, se considera más oportuno cerrar este capítulo con unas consideraciones que justifiquen su relación con los objetivos declarados al comienzo de la tesis y se va a comentar brevemente el enlace del caso Darby-Newcomen con el tercer objetivo, el de reivindicar el interés de la historia en la docencia.

Es innecesario reivindicar la docencia de la Revolución Industrial, que ya se explica en la Educación Secundaria, pero otra cuestión es escoger los hitos más representativos de la misma e interpretarlos dentro del contexto que se esté explicando, ya sean Ciencias Sociales, Naturales, Tecnología o incluso Filosofía.

Esta cuestión se complica en la educación universitaria, como lo prueba el hecho de la diferente consideración que tiene la docencia de la historia de la Tecnología en cada universidad y se podrían citar ejemplos que van desde Asturias a California, pasando por Formosa o El

Cairo. Dentro de cada universidad la situación puede ser parecida cuando se compara la consideración de la historia de la Tecnología en sus diferentes departamentos.

Pero cabe preguntarse por el interés que podría tener la Revolución Industrial para un estudiante de una carrera de Ciencias en Oviedo y una respuesta válida podría ser el consolidar la cultura general que adquirió en la educación secundaria. La cultura es un concepto casi mítico en nuestra sociedad y la general más aún. ¿Es cultura general lo que debe saber de la Revolución Industrial un estudiante al terminar bachiller? Pues sí, pero no solo eso, porque no es la misma la cultura general de un abogado, que la de un médico, un sociólogo o un economista. ¿Y cuál debe ser la cultura general de un ingeniero o de un químico? Estas preguntas requieren una profundización que no encaja con este breve comentario.

Es bastante frecuente leer y oír a titulados universitarios - narrando alguna crónica de la industrialización - que el arrabio fue descubierto en Inglaterra en el siglo XVIII, ignorando la existencia de la producción de hierro líquido con mucha anterioridad en otros países y las diferentes rutas mundiales que tuvo el desarrollo de la tecnología del acero (Diamond 1978).

Otra ignorancia no justificable en ingenieros de minas es que una bomba de vapor para extracción de agua de las minas fue desarrollada en 1606 por Jerónimo de Ayanz (1533-1613) - Administrador General de las minas españolas - y probada para desaguar las minas de Guadalcanal, en Sevilla (García Tapia 2011).

Una última perla cultivada: “el grafito fue descubierto en Inglaterra en el siglo XVI”, gazapo de una ilustre química ovetense al inicio de una conferencia sobre el grafeno en 2014, con una cita rápida extraída de Internet. Lo que se descubrió en Inglaterra a principios de la edad moderna fue un gran yacimiento de grafito.

Tal yacimiento sería insuficiente para abastecer las necesidades de su pujante industria de hierro fundido a principios del siglo XIX, oportunidad que aprovecharía Agustín Heredia (1786-1846) con su mina de grafito de Benahavis (Málaga) para hacer su primer gran



negocio - inicio de una fulgurante carrera financiera que le colocaría al frente de la Revolución Industrial española, con su ferrería de la Concepción. Aunque, como se dijo en el capítulo anterior, con el hándicap de mantener el uso del carbón vegetal, 125 años después del éxito de Darby con el carbón mineral.

El interés docente de este relato parece obvio, pero su oportunidad ha sido discutida incluso por Germán Ojeda, profesor de Historia Económica de la Universidad de Oviedo, que, comentando esta tesis no mostró especial interés por cambiar el actual estatus de la Historia de la Tecnología en la Universidad de Oviedo.

### Químicos

La industria química más antigua fue la del alumbre y ya se ha comentado varias veces la obra de Charles Singer publicada en 1948 con dicho título, pero, sin ánimo de polemizar sobre el superlativo del mismo - cosa que se deja para los críticos de dicha obra Sarton (1950) y López (1950) - se van a comentar en este capítulo los principales procesos industriales de naturaleza química desarrollados en la Ilustración, que tienen alguna relación con la alúmina en la Ilustración.

Es indudable que el primero es el proceso de fabricación del alumbre, del que se comentaron en el capítulo Recursos las variantes existentes en 1683. En la segunda mitad del siglo XVIII se desarrolló un nuevo proceso de fabricación de alumbre por síntesis con ácido sulfúrico y arcilla, que duraría hasta bien entrado el siglo XX en toda Europa. No obstante habría que matizar que el conocimiento de la composición del alumbre no llegaría hasta la identificación del potasio por Vauquelin en 1797, lo cual cuestiona la afirmación anterior. No obstante - como ya se comentó en el capítulo de Recursos Materiales - desde antiguo se conocía la existencia de dos tipos de alumbre, el potásico y el amoniacal.

Partiendo de los razonamientos anteriores se seleccionan los siguientes procesos industriales básicos de naturaleza química para este capítulo:

- el ácido sulfúrico
- los álcalis
- nuevos procesos de fabricación de alumbre
- el agua potable

### El ácido sulfúrico

Huelga decir que el ácido sulfúrico es el producto químico por excelencia y que sus datos de producción y consumo por países son indicadores de desarrollo económico. A principios del siglo XVIII todavía se denominaba aceite de vitriolo, nombre que se remonta en Europa a la Edad Media, cuando se producía únicamente por destilación de los vitriolos, unos depósitos minerales que se producían en las minas de cobre y hierro por lixiviación natural llevada a cabo por las filtraciones de agua.

Pero a comienzos del XVIII ya se producía por calentamiento de azufre, en ocasiones con adición de nitro, en recipientes de vidrio con forma de campana que permitía recoger los vapores producidos para dar lugar al ácido sulfúrico. John Roebuck (1718-1794) y Samuel Garbett (1717-1805) introdujeron el método de las cámaras de plomo en 1746. El plomo no era atacado por el sulfúrico y no tenía la fragilidad del vidrio ni sus limitaciones de volumen (Bertomeu-Belmar 2006).

A finales del siglo XVIII el proceso se había extendido por Francia e Inglaterra y la planta de Roebuck en Escocia tenía más de 100 cámaras de un m<sup>2</sup> de planta y 3 m de alto. El ácido se vendía para fabricar tintes y ácidos nítrico y clorhídrico y también se usaba en el blanqueo de tejidos. Este avance técnico supondría un abaratamiento del ácido sulfúrico – lo que le convertiría en materia prima alternativa para la producción de alúmina, como se verá más adelante.

### Los álcalis

La **sosa**. Se hace aquí una breve digresión sobre el posible origen de la confusión lingüística que todavía existe entre el vocablo inglés *soda* y el español *sosa*, que curiosamente guarda relación con un compañero de estudios de Stahl, el también médico Friedrich Hoffmann

(1660-1742), que compartieron universidad en Halle después de doctorarse ambos en Jena en 1684.

Hoffman es conocido - entre otras muchas cosas - por el impulso que dió a la aplicación terapéutica de las aguas minerales. Su estudio de las aguas gaseosas naturales y en particular la identificación de las carbonatadas llevaría ya en el siglo XIX a la fabricación artificial de las mismas a partir del carbonato sódico, *soda* en inglés. Y el nombre inglés ha sobrevivido en español para nombrar al agua carbonatada, lo que explica que una búsqueda por *soda* solo da resultados relacionados con bebidas refrescantes, tanto en inglés como en español. Si se quieren encontrar otros resultados en inglés, hay que buscar por *soda ash*.

La ceniza de plantas costeras como la *Salsola soda*, la *barrilla* frecuente en nuestras costas levantinas, contiene carbonato de sosa que tenía un valor económico en 1684 como para justificar el laborioso proceso de recogida y combustión de dichas plantas seguido de la lixiviación de las cenizas. Dos mercados importantes eran la industria del vidrio y la del jabón pero su demanda fue menos acuciante que la de las ferrerías - no se plantearon mejoras del proceso de producción de sosa hasta finales de los años setenta, cuando empezaron en Francia los intentos de producción de sosa a partir de sal marina (Bertomeu-Belmar 2006). En 1781 la Academia de Ciencias de Paris propuso un premio para mejorar el proceso de producción de sosa, tal como hicieron después los gobiernos revolucionarios, cuando la guerra interrumpió los suministros de barrilla. Pero esta cuestión tiene un carácter más científico, por lo que se deja para el título Procesos Científicos.

La **potasa** estaba también asociada en Europa en 1683 principalmente a otras cenizas, las de combustión de la leña en los hogares domésticos (*pot*: pote, *ash*: ceniza), que desde antiguo se usaban mezclándolas con agua para obtener una lejía blanqueadora, lo que dió lugar al término *pot-ash* en el siglo XVI, según el OED. Sus aplicaciones principales - como se mencionó en Recursos Materiales - eran el vidrio, el blanqueo de la ropa y el jabón y se seguía fabricando lixiviando las cenizas, retirando los sólidos en suspensión y evaporando el agua de la solución en grandes calderos de cobre, como la sosa de la barrilla. Y el proceso no evolucionó mucho durante el siglo XVIII, aparte

de la sustitución de los calderos de cobre por los potes de hierro colado que introdujo Darby a principios de siglo.

En el sitio web [www.ideafinder.com](http://www.ideafinder.com)<sup>11</sup> consultado el 13.9.15 se dan detalles de la primera patente americana registrada en 1790 por Samuel Hopkins y firmada por George Washington, sobre un proceso de mejora de la producción de potasa a partir de madera. En dicha referencia se indica que para producir una tonelada de potasa era necesario talar 4000 m<sup>2</sup> de bosque y que el precio de la potasa en aquella época era de 25\$/ton, lo que aparenta una escasa valoración de la madera en Norteamérica a finales del siglo XVIII. La web [www.thecanadianencyclopedia.ca](http://www.thecanadianencyclopedia.ca) consultada en la misma fecha que la anterior dice:

*As early as 1767, potash from wood ashes was exported from Canada, and exports of potash and pearl ash (potash and lime) reached 43,958 barrels in 1865. There were 519 asheries (i.e., factories producing potash) in operation in 1871. The industry declined in the late 19th century when large-scale production of potash from mineral salts was established in Germany.*

Después de lo comentado en Procesos Energéticos sobre la crisis provocada por la escasez de madera a mediados del XVIII resulta extraño concluir aquí que, ni la sosa ni la potasa tuvieron mejoras sustanciales en sus procesos de producción hasta finales del siglo XVIII, quizá porque las necesidades de Inglaterra, Francia, Alemania etc. finalmente fueron satisfechas por importaciones de países menos desarrollados, hasta que se dispuso de una nueva tecnología.

### Nuevos procesos de alumbre

En 1797 se inicia un nuevo procedimiento de fabricación de alumbre a partir de las pizarras de escombreras de minas de carbón en Escocia, lo que supone un gran abaratamiento en la producción de alumbre que asociado con el impulso de la industria del sulfúrico permitirá - ya entrado los años 20 del siglo XIX - la producción de sulfato

---

<sup>11</sup> <http://www.ideafinder.com/history/inventions/potash.htm>

de alúmina a partir de arcillas, como se verá en la tercera parte dedicada a los sistemas de alúmina en 1808.

También se verá más adelante - en esta segunda parte en el título Procesos científicos - que Marggraf hace unos experimentos de síntesis del alumbre con ácido sulfúrico y arcilla en la Academia de Berlín en 1746 y sus descubrimientos, unido a los avances en la producción de ácido sulfúrico de Roebuck, permiten desarrollar un nuevo proceso de fabricación de alumbre cuya dimensión industrial a finales del siglo sería importante en algún sector, como se verá en el próximo capítulo dedicado a la industria textil.

No obstante, incluimos a continuación una cita extraída de un ejemplar de 1903 de la revista *Boletín Minero y Comercial* (Rodríguez Mourelo 1903):

*A la tintorería, lacas, papeles pintados, etc. débese el beneficiar los minerales del alumbre y cuantos puedan contenerlo o producirlo, y por ello no sólo se explotan los sulfates dobles que lo constituyen, en estado de cierta pureza, sino que se apela á las arcillas y á su tratamiento por el ácido sulfúrico, empleando métodos muy adelantados, al punto de ser, en el día, el silicato hidratado de aluminio que las constituye, la primera materia que en mayores cantidades es utilizada para la industria del alumbre, ligada á tantas otras que de continuo lo requieren, transformándolo de diversos modos*

### Agua potable

En la Introducción del capítulo Recursos Materiales se afirmó que el agua no suele ser tenida en cuenta como recurso industrial, sin matizar a que agua y a que industrias se refería la afirmación. En el libro *Drinking Water: A History* (Salzman 2012) se relata el caso de Nestlé en McCloud, un pequeño pueblo en el norte de California, donde la multinacional desistió de un proyecto de reconversión de una abandonada planta maderera en planta embotelladora de agua potable por la oposición municipal. Es obvio que hay que matizar lo que se dijo sobre el agua industrial teniendo en cuenta la vieja industria del agua potable.

El alumbre y el agua potable estuvieron relacionados desde tiempo inmemorial y no es necesario añadir aquí ninguna nueva cita bibliográfica. La potabilización del agua fue una industria asociada a los primeros asentamientos humanos, cuando el suministro de agua potable empezó a convertirse en un problema de salud pública. Y esta aplicación está estrechamente relacionada con la alúmina, exactamente con los hidróxidos de aluminio que se forman cuando se descompone con un álcali una disolución de sulfato de aluminio. El gel que se forma durante dicha solución es un agente floculante que decanta las partículas en suspensión.

La posibilidad de fabricar el sulfato de aluminio a partir de ácido sulfúrico y arcilla fue sin duda un avance importante para la industria del agua potable, aunque todavía a finales del XVIII el sulfato de alúmina no fuera competitivo con el alumbre. Todavía a mediados del siglo XIX, en el *Dictionnaire des arts et manufactures* (Laboulaye 1847) se afirmaba que:

*Le sulfate d'alumine est un produit tout nouveau dans l'industrie, et qui a pris en deux ou trois ans une grande extension. Il est destiné à remplacer les aluns à base de potasse ou d'ammoniaque, qui en definitive n'agissent que par l'alumine qu'ils contiennent... que revient à un prix beaucoup moins élevé que ce des sels doubles.*

### Textiles

Los procesos industriales textiles se clasifican en dos grandes grupos. Uno que reúne todos los procesos mecánicos de preparación del tejido, desde el tratamiento de la materia prima, su hilado y posteriores elaboraciones de tejido, trenzado, etc. Y un segundo grupo que a su vez se puede subdividir en dos, los procesos de blanqueado y teñido de hilos y telas y los procesos de estampado y otros acabados de las telas.

La historia de la Revolución Industrial suele asociarse con la Revolución Textil, entendiendo por tal la mecanización de los procesos

de hilado y tejido, soliendo pasar inadvertidos los procesos de blanqueado y coloreado en sus crónicas generalistas. Dado el enfoque material de esta tesis se considera irrelevante el relato pormenorizado de los desarrollos mecánicos del hilado y del tejido, de extraordinario interés para la historia de la ingeniería industrial, mientras que se profundizará en los desarrollos de los procesos de acabado, muy relacionados con la alúmina, sobre todos los de coloreado.

### Hilado y tejido

Los hitos más destacados de la mecanización de la industria textil fueron:

- Tejido manual: la lanzadera volante, John Kay, 1733
- Hilado mecánico: J. Hargreaves, 1764, R. Arkwright, 1768 y S. Crompton, 1779
- Tejido mecánico: E. Cartwright, 1784 y Grimshaw, 1790

Como ya se dijo en Recursos Materiales, durante el siglo XVII las telas de algodón estampado procedentes de la India eran objeto de deseo de las clases europeas acomodadas. Durante siglos los artesanos del tinte indios mantuvieron el secreto de cómo crear los estampados de colores, pero el espionaje industrial - en términos contemporáneos - permitió que a mediados del XVIII el padre Coerdoux publicase en Francia una guía paso a paso de su fabricación manual.

Agustí Nieto Galán, en el num 9 de la Revista de Historia Industrial (1996) publicó un artículo (Nieto 1996) en el que incluye la siguiente cita de Melvin Kranzberg (1917-1995), el “padre” de la Historia de la Tecnología:

*“... la llegada de la revolución industrial y la difusión de la mecanización del hilado y del tejido significó un estímulo añadido para la búsqueda de más eficaces preparaciones químicas para la impresión, la tintura y el acabado, para colorear la gran cantidad de telas obtenidas con las nuevas máquinas.”*

Lancashire destacaba en Inglaterra antes de la Revolución Industrial por sus tejidos de lana. Es un condado vecino de los de

Shropshire y Staffordshire, gérmenes de la industrialización con Newcomen y Darby a la cabeza, y después del boom textil - que culminaba en 1784 con los telares mecánicos - concentró la producción industrial de las tradicionales indianas. La impresión multicolor de las indianas desarrolló la Química Textil coincidiendo con la producción industrial de ácido sulfúrico de Roebuck en Birmingham 1741. Esta producción abarató el coste del ácido sulfúrico lo que impulsaría toda la industria química.

En cuanto a la química textil, la disponibilidad de un ácido sulfúrico barato tendrá una gran influencia en los procesos de coloreado, basados tradicionalmente en dos mordientes, los alumbres potásico y amónico. El ácido sulfúrico barato, después del hallazgo de Marggraf investigando la síntesis del alumbre con sulfúrico y arcilla, llevará a la producción de sulfato de alúmina, mucho más barato que el alumbre para producir otros mordientes como el acetato de alúmina, por ejemplo, mucho más activo que el alumbre. El acetato se fabricaba hasta entonces descomponiendo en frío el alumbre con acetato de plomo (Laboulaye 1847), proceso mucho más caro que la reacción directa del ácido acético con la alúmina, extraída del sulfato de alúmina, más barato que el alumbre, por el mismo proceso que se extraía la alúmina del alumbre, el proceso descrito por Stahl cien años antes.

El libro *Colouring Textiles* de Agustí Nieto (2001) es una referencia imprescindible para conocer los complejos procesos de coloreado a finales del siglo XVIII, especialmente en la selección de tintes y su aplicación a los tejidos. En él se mencionan repetidamente a los “*drysalters*”, proveedores de compuestos químicos para los procesos de blanqueado y mordentado, pero la fabricación de estos compuestos cae fuera del alcance del libro.

Esta cuestión de la fabricación de productos químicos auxiliares para la industria del tinte, principalmente blanqueantes y mordientes, merecería ser abordada dentro del complejo desarrollo de los procesos de coloreado de las telas, lo que seguramente habrá hecho ya algún especialista.

En esta tesis se destaca la importancia que supuso disponer de alúmina para poder fabricar de forma más económica múltiples sales de



alúmina utilizadas como mordientes como sulfato, acetato, muriohidrato, iodohidrato , etc. y la referencia documental más importante ha sido el *Diccionario de Artes y Manufacturas* de Charles Laboulaye, en concreto la entrada ALUMINE de su primera edición de 1847.

### Blanqueado

El blanqueado de las telas era tan importante como el coloreado y el desarrollo del proceso Leblanc para fabricación de sosa cerca de Paris en 1791 completó básicamente los desarrollos de Química Textil.

El boom de la industria química en general continuará en el XIX y mantendrá la industria de alumbre a partir de pizarras alumbrosas en Yorkshire y Escocia hasta 1950, a pesar de los tintes artificiales que aparecen a mediados del XIX, que revolucionan el coloreado de los tejidos por no requerir mordentado.

### Otros procesos industriales

En este capítulo se van comentar los procesos industriales de otros materiales que tiene alguna relación con la alúmina, que aunque no tan significativa como la de los materiales que hemos analizado hasta ahora en este capítulo.

A modo de introducción literaria se considera útil una breve digresión sobre los términos *material* y *sustancia* y su utilización con la alúmina y sus materias primas y derivados. Entre las materias primas se han considerado en esta tesis la alunita y las tierras y pizarras alumbrosas, como materias primas del alumbre en 1683; el alumbre sería la materia secundaria de la que se extraía la alúmina en dicha fecha, según el proceso registrado por Stahl en sus *Fundamentos*. ¿Cuál sería el sustantivo que correspondería a estas materias el de material o el de sustancia? Parece que ninguno de ellos; la alunita es claramente un mineral y las pizarras y tierras alumbrosas son rocas y tierras.

En cuanto a los derivados de la alúmina objeto de esta tesis no se han encontrado más que sus sales: sulfatos, acetatos, clorhidratos, etc. Estos derivados son compuestos químicos, a los que en rigor lingüístico

tampoco procedería aplicar ni el concepto de sustancia, ni el de material. Esta definición “compuesto químico” quizá no fuera aceptada por un purista de la Lengua Española. En inglés no existe ese problema porque la palabra *chemical* tiene acepción como sustantivo, mientras que en español un *químico* sólo es una persona. A estos productos químicos si cabría llamarles *material* o *sustancia*, según el enfoque científico. Material correspondería con un enfoque desde la Ciencia de los Materiales y Sustancia con un enfoque desde la Química. Pero el sustantivo más frecuente en la industria y el comercio actuales es el de productos químicos.

En cuanto a la propia alúmina se podría aplicar la misma conclusión alcanzada con sus derivados respecto al uso indistinto de *sustancia* o *material* según el enfoque científico. Los calificativos actuales también corroboran la conclusión anterior. En el mercado internacional se suele hablar hoy de alúmina *química* y alúmina *metalúrgica*. La química no es solamente la destinada para aplicaciones químicas, sino también para cerámicas, refractarias, etc., en cada uno de cuyos casos cabría hablar de *sustancia* o de *mineral*.

Y esta digresión ¿qué utilidad puede tener para la tesis y por qué se incluye en este capítulo final del Título Procesos Industriales dedicado a materiales no directamente relacionados con la alúmina? Esta cuestión no es baladí y la decisión de descartar alguno de los capítulos planteados durante el desarrollo de la tesis ha sido siempre objeto de debate. La historia de la alúmina en la Ilustración no es la historia de dos átomos de aluminio y tres de oxígeno que se unen casualmente, si se pudiera permitir un chiste.

Para cerrar esta digresión se acude a la publicación ya referida en el Título Recursos Materiales, la obra de Klein y Lefèvre “*Materials in Eighteenth-Century Science*”. El título “*Materials in Science*” parece indicar que la obra va a tratar más de recursos materiales científicos que de recursos materiales técnicos y de hecho esta suposición se confirma en la Introducción: “*we want to write a history of the most significant chemical substances of the eighteenth century* (pag. 9)”. Pero más adelante en el mismo párrafo se refieren a estas sustancias con el concepto “*scientific objects*” y finalmente se refieren al libro como “*a picture of chemists’ ontology of materials*”. Klein y Lefèvre - prestigiosos

investigadores alemanes del Instituto Max Planck de Historia de la Ciencia – han escrito una obra extraordinaria para la historia no solo de las sustancias químicas, sino de los materiales de todo tipo.

Esta tesis, ya se ha dicho que no pretende ser un capítulo de la Historia de la Química, aunque muchos de sus capítulos tienen un enfoque químico indudable. La obra de Klein y Lefèvre ha resultado interesante no solo en Recursos Materiales y ahora en Procesos Industriales, lo sería hasta en el Planteamiento. En la solapa de introducción se puede leer algo que coincide con las elucubraciones por las que se llegó a la estructura de esta tesis como Recursos, Procesos y Sistemas:

*The authors approach their subject by scrutinizing the modes of identification and classification used by chemist and learned practitioners of the period... más adelante argumentan que chemists didn't live in different worlds of materials before and after Lavoisier.*

En cualquier caso, la obra referida no es más que una entre las decenas de referencias bibliográficas, aunque su cierta imprecisión en la identificación literaria de sus objetivos ha merecido esta rebuscada y quizá inútil digresión.

Volviendo al comienzo, en este capítulo se van a comentar los procesos industriales de otros materiales relacionados con la alúmina y cuyo desarrollo en la Ilustración pudo haber influido en los sistemas de alúmina existentes en 1808.

Los materiales cuyo desarrollo se va a rastrear son la porcelana y los pigmentos. El vidrio y el papel también serían objeto de interés pero su estudio se incluye en la lista de trabajos post-doc.

### La porcelana

Algo similar a lo que ocurrió con las indianas ocurrió con la porcelana en las cortes europeas a finales del siglo XVII en cuyos salones se puso de moda tomar chocolate - que se empezaba a importar de América - en tazas de porcelana. Por consiguiente era

objeto de rivalidad entre los nobles y los reyes se afanaban en impulsar el desarrollo nacional de la porcelana, un producto caro que venía de China.

Una prueba de esto se encuentra en el Centro Cultural del Born en Barcelona – inaugurado con la celebración del III Centenario de la destrucción de la Ciudadela por Felipe V en 1714 - que alberga una extraordinaria colección de muestras de cerámica excavadas de los restos de la Ciudadela. No hay ninguna muestra de porcelana en los miles de objetos cerámicos domésticos encontrados, todos son de barro o loza.

La rivalidad por la porcelana en Alemania había culminado con el enfrentamiento entre los reyes Federico I de Prusia y Augusto de Sajonia que terminó a favor del último en 1709 en Meissen con el hallazgo del secreto de la porcelana (Strube 1962) por Johann F. Böttger (1682-1719) y Ehrenfried W. Tschirnhaus (1651-1708).

Johann Heinrich Pott (1692-1777) era alumno de Stahl y Hoffmann en la universidad de Halle cuando se descubrió el secreto de la porcelana (Calderón 2007 y Gleeson 1999) y uno de sus primeros trabajos fué la investigación de la porcelana para el rey de Prusia, trabajo que le permitió publicar su *Lithognoseologia* en Postdam en 1746 y en Paris en 1753 (Pott 1753). En él queda reflejado el enorme esfuerzo desarrollado por este químico, coronado con éxito según él: “*L’examen de la véritable Porcelaine que j’ai entrepris il y a quelque années, et que j’ai si heureusement achevé.*” No debió pensar lo mismo la comisión que le examinó para acceder a una plaza de la Academia de Ciencias de Berlin-Brandenburgo y que se la concedió a Marggraf.

Según el artículo *Letters from China: A History of the Origins of the Chemical Analysis of Ceramics* (Pollard 2015) la obra de Pott presenta con claridad el conocimiento del análisis de las tierras que se tenía en la primera mitad del siglo XVIII, motivado en gran parte por el éxito social de la porcelana, que toda la sociedad admiraba.

La arcilla “pura”, el caolín, el silicato de alúmina hidratado, será un material básico para la porcelana a primeros del XVIII y también para la producción de sulfato de alúmina a principios del XIX.

## Lacado y pigmentos

El alumbre servía para obtener casi todas las lacas. La profesora Yayoi Kawamura explica en su obra *“Lacas Namban: Huellas de Japón en España”* que las lacas japonesas eran exclusivamente vegetales, aunque el negro intenso era producido por un óxido de hierro, que se dispersaba en un gel de alúmina, según se puede comprobar en la Enciclopedia Larousse online en la entrada LAQUE: *“Les laques plus solides sont d’origin minérale, du type laque de fer fixée a l’alumine”*.

En *El Arte Namban en el Méjico virreinal* de Rodrigo Rivero Lake, Eds. EstiloMexico y Turner, Mexico 2005 se describe el uso del alumbre en la fabricación de las lacas como extractor y portador de los colorantes. El gel de aluminio que se producía en el proceso arrastraba en su precipitación las partículas de colorante en suspensión que quedaban atrapadas y dispersas en el gel - lo cual facilitaba el proceso posterior de aplicación de manera muy dispersa - para en múltiples capas conseguir un acabado de una uniformidad en color y una adherencia al soporte extraordinaria - lo que garantizaba su resistencia y duración - con unos valores estéticos que siguen siendo referencia en Historia del Arte.

El artículo *Alquimia: Pigmentos y colorantes históricos* publicado en Anales de Química de la RSEQ, en su nota 23 dice que “para la preparación de las lacas el colorante es tratado con alumbre” (se ignora la mecánica-química-física del proceso). También se dice en el documento:

*La mejora de los procesos de laqueado fue constante “desde los inicios de la historia”. Pero el estudio de los procesos es difícil por la gran variedad de idiomas y de dialectos territoriales, además de las diversas técnicas empleadas, lo que dio lugar a un conjunto de léxicos profesionales muy difíciles de interpretar, es decir, de entender y traducir. “Estas confusiones terminológicas se mantuvieron hasta finales del siglo XVIII en que se empiezan a establecer las primeras reglas para nombrar y formular la materia”.*

## PROCESOS CIENTIFICOS

Los Recursos Intelectuales existentes en Europa en 1683, analizados en el Título anterior, van a experimentar una notable evolución hasta 1808, que será distinta en cada territorio europeo y también en cada una de las disciplinas consideradas. En este Título dedicado al desarrollo de los Recursos Intelectuales se califican sus procesos como científicos, aun cuando es anacrónico hablar de Ciencia en el siglo XVIII. El siglo XVII se considera el de la Revolución Científica, porque en cierto modo se establecen las bases de la Ciencia pero sólo la Física tiene un gran desarrollo entonces, mientras que la Química iba retrasada. Pero ambas disciplinas se agrupan hasta el siglo XIX en el concepto de Filosofía Natural, quedando la Biología y la Geología dentro de la Historia Natural, concepto este todavía en vigor en el mundo anglo-sajón. Los tres bloques serán cada uno objeto de un capítulo dentro de este Título de Procesos Científicos. Lógicamente, siendo el objeto de esta tesis un producto mineral tiene sentido que el capítulo de la Química se trate con más extensión.

Los recursos de carácter socio-económico se incluyeron como capítulo de los Recursos Materiales. En esta segunda parte de la tesis, dedicada a los procesos que cambiaron los recursos iniciales, los procesos socio-económicos se incluirán con los científicos, reconociendo el inicio de la Economía Clásica, como incipiente ciencia.

El capítulo final dedicado a Humphry Davy, sirve de cierre de los conocimientos de la alúmina en la Ilustración. Es ocioso añadir que este final es absolutamente arbitrario. Los experimentos de Davy no fueron la última razón de ser de la alúmina, pues poco después Oersted consiguió producir con un arco eléctrico y alúmina unas partículas de aleación AlFe y Wöhler con clorhídrico, alúmina y sodio produjo unas partículas un poco mayores que le permitieron caracterizar el aluminio.

Pero esta tesis no es de historia del aluminio y por ello los procesos científicos se cierran con los experimentos de Davy en 1808 - cuando algunos países europeos todavía estaban en la Ilustración, pues para el Romanticismo tampoco hay una fecha aceptada por todos los historiadores.

Por tanto, este título se divide en los siguientes capítulos:

- Físicos
- Químicos
- Otros procesos científicos
- Sir Humphry Davy

### Físicos

El concepto de afinidades electivas lo utilizó en Inglaterra Edward Bancroft, médico y especialista en tintes, autor de un best-seller sobre el tinte en 1794 (Nieto-Galán 2001). En él propuso que la coloración se debe a afinidades electivas de los cuerpos por algunos colores. Bancroft fue aprendiz con un médico en Connecticut y amigo de Benjamin Franklin. Se estableció en Inglaterra en 1767 y se hizo médico. Con 25 años y dos años después de llegar a Inglaterra escribió dos libros - una historia natural de la Guayana y un ensayo sobre la controversia de las colonias. En 1794 publicó el 1er volumen de sus *Experimental Researches concerning the philosophy of permanent colours* donde defiende que los colores son químicos.

Quizá esto sea FÍSICA que desplaza a la filosofía natural a finales del XVIII. Según Nieto-Galán en su artículo (2000) sobre los dos libros de texto de tinte de Bancroft y Berthollet, la Física va por delante de la Química en Inglaterra.

### La materia

El tránsito desde la teoría de la composición de la materia de Demócrito en partículas indivisibles que denominó *atomos*, citada en todos los textos de Filosofía Natural hasta, hasta la teoría atómica de Dalton de 1805 hubo mucha especulación filosófica. En cualquier caso, se considera que su interés cae fuera del alcance de esta tesis. A título de curiosidad se incluye a continuación una de las láminas de su *New System of Chemical Philosophy* (Fig 19).


⊙ Hydrogen	Ⓜ Soda	⊙Ⓜ Ammonia
Ⓛ Nitrogen	Ⓜ Pot Ash	⊙● Olefiant
● Carbon	○ Oxygen	○● Carbonic Oxide
⊕ Sulphur	Ⓢ Copper	○●○ Carbonic Acid
Ⓛ Phosphorus	Ⓛ Lead	 Sulphuric Acid
⊙ Alumina	⊙○ Water	

Fig. 18 Símbolos y fórmulas de J. Dalton en 1808

El modelo atómico de Dalton permitía entender las proporciones constantes que se observaban en las reacciones químicas, lo que hace que se incluya generalmente en la historia de la Química. En cualquier caso la estructura de la molécula de la alúmina, compuesto químico identificado y nombrado veinte años antes, todavía tardaría tiempo en conocerse.

### El calor y el fuego

Guillaume Amontons (1663-1705), físico instrumentista, investigó el termómetro y en 1700 descubrió la relación entre la presión y la temperatura de los gases, pero su hallazgo pasó desapercibido muchos años.

Los conocimientos de Bernouilli, Boyle y Mariotte en el XVII sobre Mecánica y Elasticidad de los fluidos se desarrollaron teóricamente con las herramientas matemáticas que Newton (1643-1727) y Leibniz (1646-1716) habían puesto a punto. Leonhard Euler (1707-1783) en 1755 publica los “Principios Generales del Movimiento de los Fluidos”, donde relaciona las variaciones de densidad con las de velocidad, lo que le permite comprobar el principio de conservación de la masa que ya había enunciado Lomonosov en 1745 y ratificaría Lavoisier en 1785, atribuyéndole naturaleza material al *calorique*. Euler completa el conocimiento de los gases con lo que él llama “cualidad térmica”, que duda en identificarla con el calor o la temperatura. Pero sus espléndidas ecuaciones tampoco tendrán utilidad en la Ilustración, salvo casos aislados de hidráulica y cinemática del pujante vapor (Utrilla 2014).

Pero el antiguo estudio de la naturaleza del fuego y uno de sus efectos principales, el calor, fue continuado por muchos filósofos



naturales del XVIII, quizá estimulados por el crecimiento del carbón como nuevo combustible. Sus trabajos fueron básicos para el desarrollo de la Termodinámica que alcanzará un hito con la obra de Sadi Carnot (1796-1834) "*Reflexions sur la puissance motrice du feu*", publicada en Paris en 1824.

También cabe citar los siguientes logros científicos relacionados con el calor en la Ilustración:

Joseph Black (1728-1799): el calor como fluído (1765)

Jacques Charles (1746-1823): relación P y T en los gases (1787)

Benjamin Thomson (1753-1814): el calor como rozamiento (1798)

Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850): relación P y T en los gases (1802)

### Magnetismo y Electricidad

El magnetismo siguió despertando la curiosidad de muchos filósofos naturales, pero sus logros materiales aplicables a las tecnologías de la alúmina fueron escasos. Habría que esperar a Faraday, que continuando los trabajos de Davy, superaría a su maestro y empezaría a desvelar el electromagnetismo. No obstante el magnetismo aparecía asociado a la electricidad desde antiguo, por lo que hoy conocemos como Electrostática y sobre esta materia son destacables los ensayos teórico-prácticos del Abad Jean Antoine Nollet (1700-1770) referenciados en (Nollet 1746) y (Nollet 1765), o los de Giovanni Battista Beccaria (1716-1781) de ref. (Beccaria 1756) cuya profundización se saldría del alcance de la tesis, pero se pueden considerar antecedentes teóricos de la pila de Volta como se documenta en (Pancaldi 2003, pp18, 20).

La influencia en Volta de las obras de Benjamin Franklin (1706-1790) sobre electricidad también se documentan en (Pancaldi 2003, 86-88) y cabe repetir lo dicho anteriormente sobre la profundización.

En los procesos de contenido eléctrico la distinción entre científicos e industriales es complicada, porque la diferencia entre teoría y práctica eléctrica en el siglo XVIII es algo muy sutil. Con esta ligera justificación se mantienen en el Título Procesos Industriales los desarrollos de Galvani y Volta, atribuyéndoles con ello un mayor aparente valor práctico, pero cuyo calificativo industrial no guarda relación con las revoluciones industriales del XVIII.

Sin lugar a dudas las bases teóricas de Galvani y Volta desarrolladas en el XVIII son mucho más extensas que Nollet, Beccaria y Franklin y habría que mencionar, entre otros a otros físicos cuyos libros estaban en la biblioteca del Colegio Jesuita de Como, donde ingresó Volta en 1758. Según un catálogo de 1774 (Pancaldi 2003, 18) esta biblioteca tenía libros de Física de Ricatti (1676-1754), Gravesande (1688-1742), Muschenbroek (1692-1761), Boscovich (1711-1787), Frisi (1728-1784), etc

La pila de Volta será considerada una razón de ser de la alúmina en la Ilustración, pero profundizar más en sus orígenes teóricos será otra tarea post-doc.

### Químicos

Se dijo en la Introducción que ésta no es una tesis de Historia de la Química pero la alúmina también es un compuesto químico, que como tal empieza a conocerse en el XVIII durante la ya mencionada Revolución Química - una revolución conceptual, teórica o científica a los efectos que interesa en esta introducción de los procesos científicos. En esta Revolución científica, que llegaría con un siglo de retraso respecto a la Física, se encontrarán bastantes razones de ser de la alúmina, lo que justificará la extensión de este capítulo comparada con la de los restantes Procesos Científicos.

La Historia de la Revolución Química ha sido objeto de centenares de publicaciones, por lo que este capítulo podría contener una incontable colección de citas bibliográficas, p.e. *La Revolution chimique: Lavoisier* de M. Berthelot (1890), *The Chemical Revolution* de A. Clow

(1952) o *The Historiography of the Chemical Revolution* de J. McEvoy (2010).

La alúmina fue un producto químico poco significativo en la Revolución Química y solo al final empieza a tener existencia propia. Pero como principio activo del alumbre tuvo una importante existencia, aunque al lado del alumbre y con terminología también actual, habría que calificarla de *subproducto* y en terminología de la Ilustración de *tierra*. Pero la transición de *subproducto* a *materia prima* tiene lugar dentro de la Revolución Química, cuyos procesos relacionados con la alúmina se van a comentar en este capítulo.

El índice de los *Fundamentos* de Stahl prueba suficientemente que los Recursos Intelectuales de naturaleza química en 1684 eran muy amplios, tanto en conocimiento de la composición de la materia como de sus procesos de transformación. El desarrollo de estos conocimientos en relación con la alúmina en la Ilustración se estudia en este capítulo seleccionando los procesos científicos de carácter químico, que más relevancia hayan tenido.

Los procesos que se han considerado relevantes para la alúmina en la Ilustración son los siguientes:

- Nuevos metales y elementos
- Nombres y Símbolos
- Química Neumática
- Afinidad

### Nuevos metales y elementos

Los metales sirvieron para marcar hitos históricos como la Edad del Cobre o del Hierro y su utilización como moneda revolucionó el comercio. La explotación de los recursos minerales metálicos era una de las fuerzas de la economía en 1684, pero podía decirse que la búsqueda de nuevos metales estaba estancada desde hacía tiempo.

Los siete metales clásicos, Au, Ag, Cu, Sn, Fe, Pb y Hg, conocidos desde la Protohistoria seguían siendo los únicos conocidos por la sociedad. Pero los alquimistas medievales aislaron otros cuatro, As, Sb,

Zn, Bi y en la América del siglo XVI se aisló el Pt. Es decir, en 1684 se conocían doce metales.

En la Ilustración se van a aislar doce nuevos metales convencionales, W, Cr, V, Co, Ni, Mn, Mb, Te, Be, U, Zr e Y. Estos resultados de investigación metálica no son solo atribuibles a los procesos analíticos desarrollados durante la Revolución Química, sino a otros muchos procesos tecnológicos y científicos y en cualquiera de dichos metales podrá cuestionarse si se descubrieron realmente en el chamizo de ensayo anexo a alguna mina o en el laboratorio de la Academia relacionada.

Pero además de estos metales convencionales, asociados todos ellos a menas pétreas y casi todos ellos a procesos carbotérmicos, se encontraron otros metales no convencionales en menas terrosas, los que hoy denominamos metales alcalino-térreos. Estos fueron Na, K, Mg, Be, Ca, Sr y Ba. Sin embargo el aluminio, metal fundamental en la mayor partes de los suelos térreos y de las rocas más abundantes en la corteza terrestre, los feldespatos, silicatos de Al, Na y K, sólo se vislumbra en 1808.

Pero hay que recordar que además de estos diecinueve metales, se descubrieron otros nuevos elementos y decenas de compuestos químicos, por análisis y/o síntesis, lo que permite ratificar la Revolución Química desde nuestra visión de 2015. Se dejan para los apartados siguientes de este grupo de procesos analíticos, los dedicados a otros elementos y a otros productos más complejos. En este apartado se van a tratar los que permitieron identificar la alúmina.

Stahl explicaba en 1683 que la base de la tierra del alumbre era calcárea. La demostración experimental de que esa base era un metal tardaría 150 años en llegar, pero hasta 1808 hubo hitos destacables en la identificación de la alúmina.

La alúmina fue descubierta por A.S. Marggraf (1709-1782) en 1754 (Engels-Nowak, *Auf der Spur der Elemente* 1970, p. 132). Esta afirmación se encuentra repetida en la escasa historiografía contemporánea del aluminio que se remonta al siglo XVIII y siendo cierta, requiere una matización ya hecha. En primer lugar es obligatorio

citar la Historia de la Química de Herman Kopp publicada en Braunschweig entre 1843-1847. En la página 61 de su tomo IV afirma que Pott en su Lithogegnosie (1746) ya decía haber extraído de la arcilla una tierra que llamó *thonichte erde* (tierra arcillosa) que era la base del alumbre.

Por otra parte, esta tierra del alumbre, el hidróxido de aluminio en lenguaje actual, pudiera haberse obtenido en cualquier taller de embalsamado del antiguo imperio egipcio. Allí había piedra de alumbre, sosa (natrón) y la mezcla de una solución de alumbre con otra de sosa pudo haberse producido fácilmente. Pero ¿se podría atribuir el descubrimiento de la alúmina a los embalsamadores del antiguo Egipto? Ciertamente nadie lo ha hecho. Los Fundamentos de Stahl describen un proceso de extracción de hidróxido de aluminio a partir de alumbre y álcalis, lo que no fue el resultado de una investigación, sino la transcripción de una antigua práctica de origen desconocido.

Si la alúmina era conocida desde tiempos remotos ¿tiene sentido atribuir su descubrimiento a Marggraf? Seguidamente se comentan los ensayos de Marggraf de 1754. Se puede adelantar una respuesta afirmativa porque Marggraf no se limitó a extraer la tierra de la arcilla con ácido sulfúrico, después hizo una comparación exhaustiva con todos los “elementos y mixtos” conocidos en su época.

Andreas Sigismund Marggraf fue alumno de Caspar Neumann (1683-1737), farmacéutico que conocía y admiraba a Stahl. Estudió Química y Metalurgia y en 1738 fue admitido en la Academia de Ciencias de Berlín, donde se especializó en Química Analítica y es considerado pionero de la química analítica por sus trabajos en dicha

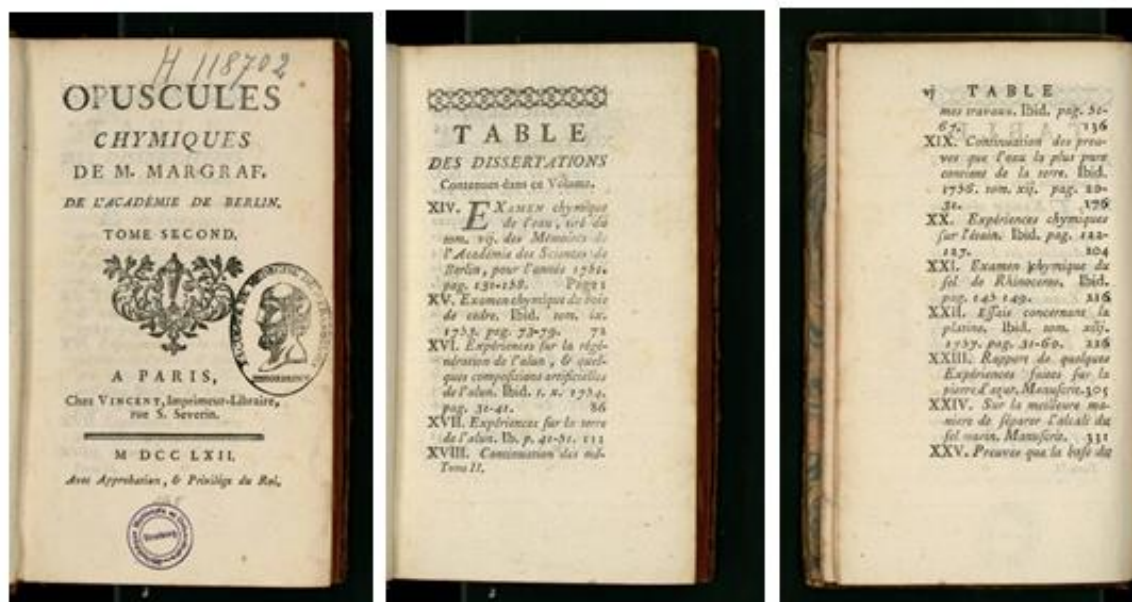


Fig. 19 Opuscules Chymiques de Marggraf – Paris 1762

Academia. Conocía la opinión de Stahl sobre la naturaleza calcárea de la tierra del alumbre. En 1754 publicó un artículo sobre la regeneración del alumbre y otros dos sobre su tierra, cuya traducción al francés puede encontrarse on-line, en la recopilación de artículos de Marggraf *Opuscules Chymiques* Tomo 2, a en Paris en 1762 (Marggraf 1762) (Fig. 20).

En el ensayo XVI *“Expériences sur la régénération de l’alun & quelques compositions artificielles de l’alun”* Marggraf cuenta primero su observación de que en los recipientes de barro del laboratorio - en contacto con aceite de vitriolo - solía producirse un depósito blanquecino superficial de una materia similar a la tierra del alumbre. Encontró que la reacción del vitriolo con la arcilla “edulcorada” con una solución de álcali fijo, producía una solución de alumbre. Lo mismo ocurría cambiando la arcilla por algunas pizarras carbonosas y tierras de turberas. Y también comprobó que con otras tierras como la “craie d’Espagne” era imposible regenerar el alumbre.

En el ensayo XVII, *“Expériences sur la terre de l’alun”* demuestra que la tierra separada del alumbre por medio del álcali fijo, cuidadosamente lavada con agua caliente, es de naturaleza alcalina pero no calcárea, como había dicho Stahl. Lo demuestra aludiendo al conocimiento ya probado que el vitriolo con tierras calcáreas producía yeso, no alumbre. Además compara las relaciones de ambos tipos de tierras, alumbrosas y calcáreas, con los ácidos del nitro, de la sal común, del vinagre, del tártaro, de las hormigas y con sales como las del amoniaco, el salitre, el álcali fijo y hasta con el cinabrio. En esta serie exhaustiva de ensayos siempre encuentra que los resultados obtenidos con tierras calcáreas son distintos a los obtenidos con la tierra del alumbre, lo que le permite afirmar que la tierra del alumbre no es calcárea, contradiciendo a su maestro. La tierra del alumbre es una tierra genuina distinta de las tierras conocidas.

Y en el ensayo XVIII *“Continuation des mêmes travaux”* continua los ensayos comparativos con otras tierras y sales metálicas. Mezcla la tierra del alumbre con bórax, tártaro vitriolado, arenas blancas, la sal fusible de la orina, el arsénico y comprueba en todos los casos que los productos de la fusión son distintos de todas las sales de mezcla. Ensayo su resistencia al fuego extremadamente fuerte e incluso violento, sola o

mezclada con las tierras anteriores, con el vidrio común y con las cales metálicas, y estos ensayos también confirman el carácter genuino de la tierra del alumbre. Relata finalmente que llegó incluso a comprobar que la arcilla bien blanca está compuesta de tierra de alumbre y tierra de sílice imperceptiblemente mezcladas.

Las conclusiones después de esta revisión de los artículos de Marggraf, ratifican su capacidad analítica y confirman que Marggraf identificó como tierra genuina, es decir, sin relación con ninguna otra tierra, la tierra del alumbre en 1754, refutando la afirmación de Stahl en sus *Fundamenta*. No parece lógico por tanto cuestionar que el trabajo analítico de Marggraf merece la consideración de descubrimiento, pero habrá que esperar al cierre del capítulo siguiente Química Neumática.

No obstante se debe añadir que el conocimiento de la composición de la tierra del alumbre entrará en la categoría de descubrimiento cuando se conozca su acción específica, que hasta ahora permanecía camuflada en la del alumbre, aunque su naturaleza genuina permitiese sospechar que el principio activo del alumbre estaba en su tierra.

Los ensayos de “regeneración” del alumbre con arcilla y ácido sulfúrico, identificaron la acción de la alúmina, pero su aplicación industrial tuvo que esperar a disponer de ácido sulfúrico barato junto con caolín de alta pureza, el cual ya había sido identificado anteriormente por Pott como se ha comentado en el apartado dedicado a la porcelana en Otros procesos industriales.

Georges L. Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788) publicó entre 1783 y 1788 su *Historia de los minerales*, como capítulo final de su monumental *Historia Natural* en 36 volúmenes, competidora de la Enciclopedia de Diderot. El capítulo dedicado al alumbre es sobre todo descriptivo de los procesos de obtención y sus aplicaciones. Rechaza la idea del químico sueco Torbern Bergman (1735-1784) de que la tierra del alumbre sea exclusivamente arcillosa y opina que es una mezcla de tierra “*limoneuse*” y calcárea, basándose en opiniones de varios académicos franceses. Buffon era más historiador que filósofo natural y no debió conocer los ensayos de Marggraf publicados en París en 1762.

Lavoisier continuará la identificación de la alúmina como veremos en el apartado dedicado a la Química Neumática y Klaproth y Vauquelin la del alumbre en el apartado Sales, Acidos y Alcalis.

Este apartado comenzó con una referencia a los metales descubiertos en la Ilustración y termina con dos breves notas sobre los descubiertos por investigadores españoles, que permiten comprobar que España también investigaba en el siglo XVIII.

El wolframio fue descubierto en 1783 en el Real Seminario de Vergara (Guipúzcoa) por Juan José de Elhuyar (1754-1796) y su hermano Fausto de Elhuyar (1755-1833). Después Fausto fue nombrado Director General de Minas en México y el mismo cargo en 1821 en Madrid. Redactó en 1825 una Ley que regulaba por primera vez en España las Concesiones Mineras<sup>12</sup>. Fue Director de la Academia de Minería de Almadén que trasladó a Madrid.

El vanadio fue descubierto en 1801 en Nueva España (Méjico) por Andrés Manuel del Río (1764-1849). Del Río estudió en Almadén y desarrolló su vida académica y profesional en el Real Seminario de Minería de la Nueva España hasta 1829. Durante la guerra con España vivió exiliado en Filadelfia, EEUU donde su obra fue reeditada. Regresó a Méjico en 1834, reasumiendo su cátedra de Mineralogía.

Nota final: Análisis y Metalurgia - Vía húmeda y vía seca. La pirotecnia, o vía seca, había estado asociada siempre al ensayo de las menas metálicas clásicas y a su metalurgia extractiva, que era ígnea. La reducción de los óxidos se lleva a cabo por un proceso carbotérmico, aprovechando la mayor afinidad por el oxígeno del carbono. Pero con los nuevos metales alcalinos, térreos y de transición la reducción carbotérmica ya no era posible. Dichos metales se descubrirían en su mayoría, por vía acuosa, con procesos de reducción electroquímica. Esta vía analítica continuaría con la Hidrometalurgia, como tecnología extractiva, cuyo comienzo atribuye algún historiador (Habashi History of Metallurgy 1994) a Karl Joseph Bayer (1847-1904) con su proceso de obtención de alúmina (1887). Se podría considerar que el término

---

<sup>12</sup> <http://doc.igme.es/RevistaMinPDF/anales%20de%20minas.%20tomo%201.pdf>



Hidromineralurgia aplicado al proceso Bayer sería más correcto, pues el paso final para la obtención del aluminio metal, el proceso Hall-Heroult de 1886 aún vigente no es una electrolisis acuosa, sino ígnea.

### Nombres y símbolos

Nombre es *la palabra que designa o identifica seres animados o inanimados* (DLE). Poner nombre exige identificar o definir ya sea un individuo, en cuyo caso se le designa con un nombre propio, o un grupo de individuos en cuyo caso se les designa con un nombre común. Esta exigencia de definición justifica la importancia del lenguaje en cualquier actividad humana y en particular la de desarrollo tecno-científico. No ha sido arbitraria la asociación del comienzo de la historia con la existencia de registros escritos, pero ello no es condición ni necesaria ni suficiente para su entendimiento. Un lugar común en la llamada Revolución Química es la afirmación de que a finales del XVIII se empiezan a establecer “las primeras reglas” para nombrar y formular la materia (Artículo *Pigmentos y colorantes históricos* en Anales de la RSEQ), afirmación exagerada si se tienen en cuenta los esfuerzos lingüísticos de los alquimistas, los jeroglíficos egipcios y chinos con registros de procesos químicos, o las primitivas fórmulas de pinturas en Altamira.

En el siglo XVIII se hablaba *con propiedad* en Europa, pero nuevas reglas de nomenclatura harían que léxico químico tuviera significados más exactos. Los conceptos *pedra de alumbre* y *tierra del alumbre*, que ya se usaban en la Castilla medieval ayudan a entender la *propiedad* gramatical. El nexos *de* o *del* sirve para expresar que el primer concepto se refiere a una piedra de la que se obtiene alumbre, mientras que el segundo se refiere a una tierra que contiene el alumbre. Las palabras actuales *alunita* y *alúmina* tienen un significado más exacto, la primera es de principios del XX y la segunda de finales del XVIII. El concepto *tierra de alumbre* es distinto y se refiere a una tierra que contiene alumbre. Esta reflexión es difícil traducirla al inglés donde los dos primeros conceptos se traducen como *alumstone* y *alumeath* mientras que el último habría que traducirlo como *alumsoil*.

El asunto se complica cuando se comparan los léxicos de distintas profesiones. *Pizarra de gas* es un concepto moderno en el léxico minero español como lo es *shale gas* en el inglés. Pero *pizarra de alumbre* en el

léxico geominero español moderno es prácticamente desconocida, mientras que *alumshale* es muy usada en inglés. Lo cual se podría explicar porque las pizarras no han sido recurso mineral frecuente de alumbre en España, que ha dispuesto de alunita hasta avanzada la Revolución Industrial, mientras que en Inglaterra la explotación de las pizarras de alumbre duró como se comentó en el Contexto de la tesis, desde comienzos del XVII a mediados del XX. Por otra parte, en la literatura geológica española reciente se cuestiona si la traducción correcta de *shale* debiera ser *lutita* en lugar de *pizarra*.

Estas diferencias léxicas territoriales y profesionales se explican introduciendo el tiempo, dimensión que afecta al lenguaje, al territorio, al conocimiento, a la sociedad, a la industria, a todo. Desde el siglo XVII hasta mediados del XX, como se ha explicado anteriormente, la industria del alumbre a partir de pizarras fué muy pujante en Inglaterra. Esto consolidó el uso del término *alumshale* allí, mientras que en España no fue así, por no haber tenido un papel tan destacado nunca las pizarras de alumbre, debido a la existencia de yacimientos de alunita, que se explotaron hasta el siglo XX.

Esta introducción permite entender que se pueda hablar de Revolución también en el lenguaje de la Química. Los léxicos relacionados con la alúmina en la Ilustración cambiaron radicalmente en todos los países europeos entre 1683 y 1808, aunque la antigua denominación *piedra de alumbre* siga usándose en todos ellos, en unos más que en otros, en vez de su nombre propio *alunita*. No obstante la tierra del alumbre empezó a llamarse *alumine* también en España y a finales del siglo XVIII, lo que al menos indica una evolución más rápida de la nomenclatura en los dominios de la Química que en los de la Geología en el siglo XVIII.

La nomenclatura química durante la Revolución Química, como ya se ha dicho de ella misma, también ha sido objeto de muchas publicaciones y continuar teorizando sobre ella, es impertinente desde el enfoque de esta tesis. Para profundizar en su conocimiento se recomienda la obra *Nombrar la Materia* (1999) de A. J. Belmar y J. R. Bertomeu.

Este apartado se completará con referencias concretas a los nombres de la alúmina, sus materias primas y sus derivados durante el periodo de estudio. En el apartado anterior se ha demostrado claramente que Marggraf otorga identidad propia a la tierra del alumbre, pero en ningún momento cuestiona su denominación, que ya había usado Stahl en 1684 y que se remontaba a la Edad Media: *la tierra del alumbre*. A veces también se refiere a ella como *sal* pero esta denominación era clasificatoria, como veremos en el próximo apartado. Su nombre propio no deja lugar a dudas, aparece centenares de veces en sus *Opuscules Chymiques* (Marggraf 1762) como *terre d'alun*

Los nombres de la alúmina en Europa

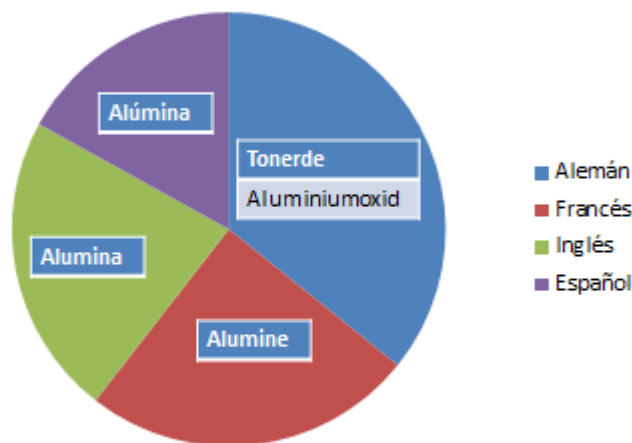


Fig. 20 Los nombres de la alúmina en Europa

traducción literal del original alemán *alaunerde*.

Además de la identidad de la *tierra del alumbre*, como se ha visto antes, Marggraf en 1754 descubrió que el alumbre se podía sintetizar con ácido sulfúrico, arcilla y el álcali fijo, del que todavía solo se sabía que había una variante mineral y otra vegetal, sin haberse determinado aún sus identidades. Dicha síntesis dará lugar a un hecho diferencial en el léxico alemán que perdura hoy día. Si con la arcilla se hacía alumbre con el aceite de vitriolo, ello se debía a que contenía una base térrea similar a la del alumbre, lo que llevó a que a la tierra del alumbre se la identificase con la tierra de la arcilla. Y siendo la arcilla un mineral y el

alumbre un producto químico, después de 1854 la denominación *tierra de la arcilla* empezó a ser más popular en Alemania que la de *tierra del alumbre*, representando ambas al mismo producto químico. El nombre original alemán de la *tierra de la arcilla* es *tonerde* y este nombre perdura hoy en los países de lengua alemana.

Este asunto supuso algún nuevo debate comercial en los años 1907/1908 entre los productores suizos y alemanes, que seguían denominándola *tonerde*, con sus competidores franceses que la llamaban *alumine pure*, cuando su *tonerde*, reclamaban los germanoparlantes, también era pura. En 1959 el comité de nomenclatura de la IUPAC debatió una propuesta alemana de cambio de la denominación *tonerde* por *aluminiumoxid* de acuerdo con las Reglas de Nomenclatura de 1957, pero solo la industria alemana la usa, el resto del mundo sigue utilizando *alumina* (Rauch 1962,3) (Fig. 21).

Guyton de Morveau (1737-1816) profesor de Química en Dijon, planteó la necesidad de “perfeccionar el sistema y las reglas” que se empleaban para nombrar las sustancias químicas mediante la introducción de nombres que estuvieran de acuerdo con “la naturaleza de las sustancias a las que hacen referencia”. Algunos autores (Davis 2010, p. 109) citan 1761 como la primera vez que Morveau utilizó el nombre *alumine* para denominar a la *tierra del alumbre*, pero los trabajos terminológicos de Guyton de Morveau culminaron en 1787 con una publicación conjunta con Lavoisier, Fourcroy y Berthollet titulada *Méthode de nomenclature chimique* (Belmar-Bertomeu 1999, p. 61). Esta obra será la auténtica partida bautismal de la alúmina y una razón de ser nueva, que concretaba su identidad en un nombre. Todavía quedaba conocer su composición, lo que lleva al capítulo siguiente.

La denominación francesa *alumine* seguirá usándose en Inglaterra todavía en 1807 y así aparece en la publicación de los ensayos de Davy. En el Diccionario de Química y Mineralogía publicado en Londres por W. C. Ottley, ya aparece la palabra **alumina** como base de varias sales acetato, hydroyodato, hidroclorato, sulfato, todos ellos de alumina, no de aluminio, lo que pudiera ser motivo de la queja de su autor de los frecuentes cambios en la nomenclatura que hacían que “la mayor parte de las obras de Química del siglo XVIII ahora casi

incomprensibles”(Ottley 1826, b), aunque en 1826 la relevancia del aluminio sería muy cuestionable todavía.

Como punto final se trae a colación aquí dos casos sobre el nombre del aluminio que, aunque fuera del alcance de la tesis, vienen a confirmar la complejidad de estos procesos lingüísticos. El nombre del metal de la alúmina que Davy bautizó como *alumium* en 1808, él mismo lo cambió posteriormente a *aluminum*, pero una comisión de nomenclatura internacional lo dejó finalmente como *aluminium*. No obstante en EEUU y en todos los países de lengua inglesa americana, se sigue denominando *aluminum*. Por otra parte, cuando Deville presentó unos lingotillos de aluminio junto a las joyas de la corona en la Exposición Universal de París de 1855, algún titular de prensa lo denominó a toda plana “*la plata de la arcilla*”, lo que suponía una segunda derivada de la *tierra de la arcilla* de Marggraf en 1754.

### Química neumática

En los dos capítulos de procesos químicos analíticos anteriores se ha visto como Marggraf identifica la alúmina en 1754 y Morveau le pone un nombre en 1787, pero quedaba pendiente de conocer su composición y sus sistemas de fabricación. Los procesos de análisis químicos que permitieron saber que la alúmina es un compuesto de oxígeno y un metal están al alcance de cualquier interesado, como buena parte de la información de esta tesis, por lo que no se considera relevante rastrearlos con el detalle empleado en otros procesos.

En cualquier caso el conocimiento de que la alúmina es un óxido resultó de la resolución de un antiguo enigma: la combustión.

Hasta muy recientemente era común en la historiografía de la Química hablar del retraso de cien años de la Revolución Química con relación a la Física y ello se explicaba argumentando que el episodio clave fue el descubrimiento del oxígeno por Lavoisier, cuyo retraso se debió a una vieja teoría del siglo XVII, propuesta por Stahl en 1703 y mantenida por sus seguidores hasta el siglo XIX, la teoría del flogisto. La profundización en el conocimiento de los hechos ha ido modificando esta visión.

El descubrimiento del oxígeno sucedió antes del 14 de Julio de 1789, fecha de la Toma de la Bastilla, cuyas consecuencias acabaron con la vida de uno de los protagonistas, Antoine L. Lavoisier (1743-1794), que fue guillotinado cuando sólo hacía cinco años había publicado su *Traité élémentaire de Chimie*, manual de referencia de la Revolución Química. Este hecho luctuoso tuvo una influencia lógica en la interpretación del descubrimiento del oxígeno, que prácticamente le fue atribuido a Lavoisier, sobre todo por los historiadores francófilos, que a la vez desacreditaban a Stahl y sobre todo a sus seguidores, como causantes del aparente retraso de la Química.

La Química neumática o Química de los gases, es quizá el episodio estrella de la Revolución Química y uno de sus hitos es la publicación del *Traité* por Lavoisier. El origen de este episodio era la explicación del papel del aire en la combustión, pero también en la calcinación de los metales y en la respiración, procesos especulativos por excelencia.

Stahl, cuando terminó su doctorado en la universidad de Jena ejerció de médico en la corte de Weimar hasta 1694, fecha en la que se traslada a la nueva universidad de Halle, patrocinada por el pujante duque de Brandenburgo-Prussia, que años más tarde se convertiría en el rey Federico I de Prusia.

En 1703 siendo profesor de Medicina y Química en Halle propuso una teoría explicativa de la combustión basada en la *terra pinguis* que J.J. Becher (1635-1682) quien sostenía que todos los cuerpos minerales se componían de tres tipos de tierra, cada una de las cuales aportaba un principio. La *terra pinguis* era portadora de la inflamabilidad y podía traducirse como *tierra grasa*, equivalente al azufre como principio y Stahl la denominó flogisto del griego *phlox* fuego.

Según la teoría del flogisto las sustancias que ardían eran ricas en flogisto y el hecho de que sin aire se agotase la combustión, significaba que el aire tenía una capacidad limitada para absorber flogisto. La liberación del flogisto explicaba la formación de cales (herrumbre) en los metales y la respiración. En todos estos procesos el flogisto pasaba de los cuerpos al aire. Stahl fue el primero en explicar la combustión como un intercambio material, pero se equivocó de dirección. El flogisto es una parte del aire que se combina con los cuerpos

inflamables y produce el fuego, o con los metales para formar cales, o con la sangre para mantener la vida celular. En la teoría electrónica de la oxidación los metales pierden electrones cuando se oxidan, es decir, la dirección del intercambio de materia coincide con la de Stahl.

Los procesos analíticos que llevaron a Lavoisier a publicar en 1789 su teoría del oxígeno, el elemento que engendra los ácidos (*oksús*, puntiagudo en griego) se resumen en los siguientes hitos:

El resumen de interés para la alúmina en la Ilustración es el párrafo del capítulo del *Traité de Lavoisier* donde dice que algunas tierras, como la alúmina, son óxidos de metales desconocidos. Con todo ello concluye el análisis de la alúmina en 1789: *la alúmina es un mixto de oxígeno y un metal desconocido*. Pero tras esta frase hay que destacar quince años de trabajo de Lavoisier en París, Priestley en Calne, Inglaterra y Scheele en Köping, Suecia.

Para terminar este capítulo dedicado al descubrimiento de los óxidos se citan dos referencias. Una (Djerassi 2001) publicada por Carl Djerassi (1923-2015) catedrático de Química en Standford, inventor de la píldora anticonceptiva y Roald Hoffmann (1937), Nobel de Química en 1981 y catedrático en Cornell N.Y. En ella se emplea una ingeniosa dramatización para explorar las múltiples facetas del descubrimiento científico, pues el objetivo de la obra es dilucidar a quien le correspondió el honor del descubrimiento del oxígeno, a Lavoisier, a Priestley o a Scheele.

Y otra relacionada con una de las primeras revistas de química europeas, los *Chemische Annalen* editados por

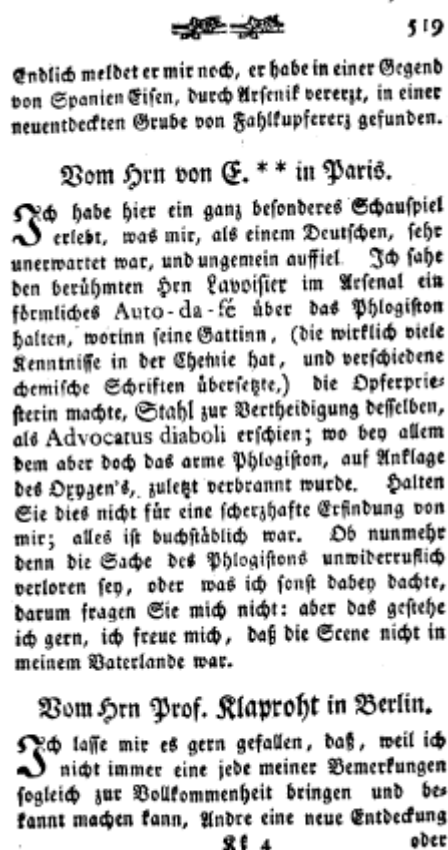


Fig. 21 *Chemische Annalen* de Crell Junio 1789

Lorenz Crell (1744-1816). En su número de Junio de 1789, se publica una carta al Editor del Sr. Von E\*\* desde Paris (Fig. 22) donde informa de un Auto de Fe realizado por Lavoisier y sus colegas en Paris, en el que celebrando su publicación del *Traité*, su mujer actuó como sacerdotisa de una ceremonia donde quemaron un ejemplar de los *Fundamenta Chymiae* de Stahl.

### Afinidad

La interpretación del breve capítulo que Stahl le dedica al alumbre en sus *Fundamentos* seguramente daría para varias páginas y aún así cabe afirmar que hay frases que serían objeto de debate entre químicos y traductores de alemán, latín e inglés. Como ya se vió, la traducción de la edición inglesa dice:

*... de esta forma las partículas alcalinas se combinan con las del ácido del alumbre; las que estando dispuestas a unirse más firme e íntimamente con aquellas, sacan de sus sitios a las partículas terrosas antes asociadas al alumbre;*

Está claro que *la disposición a unirse firme e íntimamente* de unas partículas con otras es distinta. Esta disposición, que se dio en llamar ya en el siglo XVIII *afinidad*, ha sido y sigue siendo objeto de investigación científica desde la antigüedad, aunque a aquellas investigaciones hoy las calificamos de especulaciones filosóficas, con una cierta inmodestia.

El concepto de afinidad química fue fundamental para el desarrollo teórico de las reacciones de desplazamiento, se podría decir en lenguaje actual, que se producen en soluciones con solutos de diferente afinidad entre sí, que como explicaba Stahl producía la separación de la tierra del alumbre. Y la primera reflexión al abordar este nuevo proceso teórico es repetir el dilema de la selección entre lo particular y lo universal, apoyado en el *Symploké*, el síndrome Wikipedia, etc sin perder de vista los objetivos de la tesis y escribiendo 150 páginas.

Mi Gyung Kim, profesora de Historia en la Universidad de Carolina del Norte publicó en 2003 *Affinity, That Elusive Dream. A Genealogy of*



*the Chemical Revolution*, una obra de 600 páginas editada por el MIT, que me dedicó en la primavera de 2008 cuando la visité. Al comienzo del capítulo 3 dice:

*The analytic frontier of chemistry at the beginning of the eighteenth century was mapped by solution methods, particularly by the use of acids and alkalis. Traditionally used in metallurgical practices, acids and alkalis made their way into pharmaceutical preparations in the seventeenth century. The infusion of solution methods induced mounting criticism of distillation methods...*

Los métodos analíticos basados en relaciones de desplazamiento habían permitido a E. F. Geoffroy (1672-1731) construir uno de los “mapas” a los que se refiere Kim, su Tabla de relaciones (1718) (Fig XX), donde se gradúan en vertical las “disposiciones a unirse entre sí” de dieciséis sustancias, dispuestas de manera que cada una desplazaba sólo a las que estaban bajo ella. Estos procesos de disolución sustituirían a los de destilación en el análisis de la composición química y esto tendría una importante consecuencia teórica según Kim: *Geoffroy’s table embodied a new theoretical approach that affinity determined composition, whereas in the principalist approach composition determined affinity.*

Después de la de Geoffroy las tablas de afinidades fueron incorporando nuevas sustancias. La de Spielman de 1763 tenía veintiocho, la de Fourcy de 1773 tenía treinta y seis.

Tornbern Bergman (1735-1784) estudió en la Universidad de Upsala donde fue alumno de Linneo (1707-1778) y fue profesor allí de Matemáticas y Química. Los conocimientos matemáticos de Bergman también le permitieron investigar la geometría de los minerales e hizo aportaciones al desarrollo de la cristalografía. Se confesaba seguidor de Newton que había expresado su opinión de que los cambios químicos eran causados por una fuerza que actuaba entre las partículas a distancias muy pequeñas (Scribner 2008). Sus análisis de las aguas carbónicas merecerían un espacio en el capítulo dedicado a la Química neumática. En 1775 publicó su *De attractionibus electivis* que incluía una tabla de cincuenta columnas para las atracciones por vía húmeda y treinta y seis por vía seca. Defendió la teoría del flogisto siguiendo a su

compatriota Scheele y fue un extraordinario analista que en 1782 llegó a cuantificar la afinidad del flogisto con cada metal, pero su mala salud no le permitió continuar sus trabajos pues fallecería dos años después. Peor suerte tuvo aún Scheele con la salud, o con el cloro que debió respirar, cuya vida fue cinco años más corta.

El concepto de afinidad de Geoffroy podría calificarse de corpuscular y gravitacional, en línea con los Principios de Newton. En un diccionario químico inglés (Ottley 1826) ya mencionado, a la afinidad se la considera “un fenómeno eléctrico”, quizá porque la electricidad disponible entonces era de origen químico y producida precisamente por soluciones de diferentes sales metálicas. Podrían llenarse varias páginas con los procesos teóricos que llevaron del concepto corpuscular de la afinidad en 1718 al fenómeno eléctrico de Ottley en 1826, pero no es fácil encontrar una dependencia entre ellos y la alúmina en la Ilustración.

Frederic L. Holmes (1932-2003) publicó un artículo (Holmes 1962) en el que considera que la teoría de afinidad de Claude Louis Berthollet (1748-1822) recogida en sus publicaciones entre 1800 y 1803 minaría las ilusiones aceptadas ciegamente por los químicos del último cuarto del siglo XVIII. Su idea de las cantidades relativas de las sustancias que intervienen en una reacción se adelantaría en sesenta años al concepto de equilibrio químico.

Se cierra este capítulo citando una utilidad marginal de la disquisición *De attractionibus electivis* de Bergman que inspiró a J. W. Goethe (1749-1832) en 1810 la novela traducida al español como *Las afinidades electivas*. En 1810 el conocimiento de la electricidad, el oxígeno y tantos descubrimientos llevó quizá a Goethe, en Weimar, junto a Jena, en comunión con un joven Schiller que le serviría de inspiración, a extrapolar el texto de Bergman a las relaciones humanas.

En el capítulo 4 de la novela el capitán, hombre maduro, viajero y conoedor de la modernidad, comenta con sus tres amigos más clásicos y jóvenes sus conocimientos de Química:

*“Entonces”, dijo el capitán, “volvamos de nuevo a lo que ya hemos nombrado y tratado antes. Por ejemplo, eso que llamamos*

*pedra caliza es una tierra calcárea más o menos pura, íntimamente ligada a un ácido débil que nosotros conocemos bajo su forma gaseosa. Si metemos un fragmento de caliza en ácido sulfúrico diluido, el ácido se apoderará de la cal y obtendremos yeso, mientras que aquel ácido débil de que hablábamos se volatilizará. Aquí se ha producido una separación y una nueva composición y, por lo tanto, estamos legitimados para usar el término “afinidad electiva”, porque realmente es como si se hubiera preferido una relación en lugar de la otra, como si se hubiera querido elegir una en detrimento de la otra.”*

El genio científico de Goethe, que fué capaz de refutar en ese mismo año las ideas de Newton sobre el espectro de la luz en su *Tratado sobre el color*, expresa simbólicamente el principio de la afinidad química, que su genio literario convertirá en una novela romántica con final trágico. M.G. Kim comienza su libro mencionado al principio con esta misma cita:

*“Si a usted no le parece pedante”, repuso el capitán, “puedo resumir con brevedad todo lo que le he dicho en lenguaje simbólico. Imagínese una A que está íntimamente ligada a una B, de modo que no se la pueda separar de ella por más medios y violencia que se empleen. Piense también en una C, que mantiene un comportamiento idéntico respecto a una D; ahora ponga en contacto a las dos parejas: A se lanzará sobre D y C sobre B sin que sea posible decir quién ha sido la primera en abandonar a la otra o quién ha sido la primera en unirse a la otra”.*

### Otros procesos científicos

Antes de la “ciencia de las tierras”, como podría denominarse aquí a la Química, las ciencias de la Tierra tuvieron también su desarrollo en la Ilustración.

La Mineralogía y la Cristalografía tuvieron un gran desarrollo en el siglo XVIII, con figuras como John Woodward (1665-1728), Richard Kirwan (1733-1812), René Haüy (1743-1822), Charles Greville (1749-

1809) etc. que prueban que antecesores de la alúmina también fueron - aunque más lejanos que el alumbre - el corindón, el caolín y el diásporo. Pero sólo el caolín tuvo una relación estrecha con la alúmina en la Ilustración. Al principio con su papel fundamental en el descubrimiento del secreto de la porcelana y al final por su papel decisivo en la síntesis del sulfato de alúmina con ácido sulfúrico.

Pero la tierra del alumbre no se relacionó con el corindón ni con el diásporo, hasta que Klaproth y Vauquelin en 1797 demuestran que el alumbre es un sulfato doble de alúmina y potasa y poco después estos mismos químicos certificarían que el corindón era alúmina pura y el diásporo una alúmina hidratada. Pero el corindón, sus variedades gema, rubí y zafiro y el diásporo tuvieron vida propia en otros campos ajenos a los de la tierra del alumbre y su relación con él, más allá de la propia composición química es irrelevante.

La identificación de las “pizarras de alumbre” utilizadas en Europa en el siglo XVIII como materia prima principal para la fabricación de alumbre fue una tarea difícil, que duró hasta los meses finales de la tesis. La búsqueda en la Escuela de Minas y en la Facultad de Geología de Oviedo fue infructuosa, como la realizada en la Escuela de Minas de Madrid, en la Facultad de Geología de la Complutense y en el IGME. La conclusión es que el término *pizarra de alumbre* no tuvo el mismo desarrollo en español que el término inglés *alum shale* o el francés *ardoise d'alun* y ello parece que estuviera ligado a la imprecisión todavía actual del léxico geológico español para denominar a ese tipo de rocas, cuyo nombre correcto deberían ser *lutitas* en vez de *pizarras*, según apuntan los especialistas de la geología de las *pizarras de gas* cuya denominación correcta sería *lutita*, no *pizarra*, lo cual llevaría a otra disquisición de léxico comparado español-inglés-francés, porque ningún diccionario común traduce *shale* ni *ardoise* como *lutita*. Pero esta disquisición la hemos descartado.

Otras razones que explicarían la falta de referencias sobre *pizarra de alumbre* en español es que su uso fuera menos común en España que en Europa durante el siglo XVIII y ello a su vez por dos razones: 1) El retraso en la llegada de la Revolución Industrial a España. 2) La

existencia de *alunitas* explotables en las formaciones volcánicas de Murcia y Almería hasta bien entrado el siglo XIX, que hicieron que la *pizarra de alumbre* no se usase en España tanto como en Inglaterra y Francia. Esto explicaría que el término *piedra de alumbre*, que es la *alunita*, sea usual en España aún hoy día, a pesar de que hoy el alumbre no se fabrica a partir de la *alunita*. Es decir, las *pizarras de alumbre* no fueron materia prima en la industria del alumbre y por ello el término no fue ratificado por la práctica. Con esta conclusión se dio por terminada la búsqueda de literatura en español sobre pizarras de alumbre, que había detenido la redacción del manuscrito. (Cita de Andrés del Río en Biblio Hist Minas Madrid).

Cabría haber introducido en este capítulo una referencia a los Procesos de Enseñanza en Investigación, pero cerca del final, se acentúa la “desconexión” platónica entre estos procesos más universales y las razones de ser de la alúmina, cuya identidad ya se había desvelado. No obstante se dedica un comentario a la creación de la comunidad química alemana que estudió Karl Hufbauer en su obra “*The Formation of the German Chemical Community*” (1982). Los apuntes de Stahl que habían circulado en copias manuscritas por los colegios de químicos alemanes de la primera mitad del siglo XVIII, tendrán un sucesor ilustrado, los *Chemische Annalen*, la primera revista química europea de éxito, fundada en 1778 por Lorentz Crell (1744-1816).

El cierre de esta capítulo se hará con un contenido más mediático. Obviamente el relato de la Revolución Química es distinto en Alemania que en Francia y el enfrentamiento entre las dos visiones ha tenido algunos episodios, que aunque más anecdóticos que el mantenimiento de la designación *tonerde* en Alemania, prueban en cierto modo que la ciencia también tiene seguidores apasionados. La noticia comentada al final del apartado Química Neumática, sobre la pintoresca celebración de Lavoisier y su equipo quemando la obra maestra de Stahl (Crell 1789) siguió repitiéndose ciento cincuenta años después.

En Berlín, frente al lugar donde estuvo la primera Academia de Ciencias, en el actual bulevar *Unter den Linden*, hay un monumento conmemorativo de la quema de libros que tuvo lugar allí en 1933, con esta cita de la tragedia *Almanzor* de Heinrich Heine (1821):

*Aquello fue solo un preludeo, allí donde se queman libros, al final también se queman hombres.*

Y efectivamente, en 1941, durante la invasión alemana, se fundió en París una estatua de bronce homenaje a Lavoisier y la Academia de Berlín, que en su fachada principal tenía un bajorrelieve de Marggraf, quedó reducida a escombros en 1945.

Pero Stahl, Marggraf y Lavoisier, son tres razones de ser fundamentales de la alúmina en la Ilustración.

### Sir Humphry Davy

En 1800 William Nicholson construye la pila de Volta a partir de los planos regalados por Volta a la Royal Society y descubre la electrolisis del agua con corriente continua. En 1802 H. Davy es nombrado Profesor de Química en la Royal Institution de Londres y en 1807 aisla por vía electroquímica el sodio y el potasio y continúa sus

THE  
COLLECTED WORKS  
OF  
SIR HUMPHRY DAVY, BART.  
LL.D. F.R.S.  
FOREIGN ASSOCIATE OF THE INSTITUTE OF FRANCE, ETC.  
EDITED BY HIS BROTHER,  
JOHN DAVY, M.D. F.R.S.  
VOL. V.  
BAKERIAN LECTURES AND MISCELLANEOUS  
PAPERS FROM 1806 TO 1815.  
LONDON:  
SMITH, ELDER AND CO. CORNHILL.  
1840.

122 ELECTRO-CHEMICAL RESEARCHES ON

from the amalgam that had been obtained, by the action of water.

From the general tenor of these results, and the comparison between the different series of experiments, there seems very great reason to conclude that alumine, zircon, glucine, and silice are, like the alkaline earths, metallic oxides, for on no other supposition is it easy to explain the phenomena that have been detailed.

The evidences of decomposition and composition, are not, however, of the same strict nature as those that belong to the fixed alkalis and alkaline earths; for it is possible, that in the experiments in which the silice, alumine, and zircon appeared to separate during the oxidation of potassium and sodium, their bases might not actually have been in combination with them, but the earths themselves, in union with the metals of the alkalis, or in mere mechanical mixture. And out of an immense number of experiments which I made of the kind last detailed, a very few only gave distinct indications of the production of any earthy matter; and in cases when earthy matter did appear, the quantity was such as rendered it impossible to decide on the species.

Had I been so fortunate as to have obtained more certain evidences on this subject, and to have procured the metallic substances I was in search of, I should have proposed for them the names of silicium, aluminium, zirconium, and glucium.

V. *On the Production of an Amalgam from Ammonia, and on its Nature and Properties.*

In the communication from Professor Berzelius and Dr. Pontin, which I have already referred to, a most

Fig. 22 *Electrochemical researches on alumina.* Humphry Davy

investigaciones electroquímicas sobre la descomposición de otras

tierras de naturaleza desconocida, que se llaman: *Zircono*, *Glucine* (berilo), *Alumine* y *Silex*. El nombre “alumine” que Morveau había elegido cuarenta años antes seguía usándose en 1808 en Inglaterra. En cualquier caso era un avance frente al antiguo nombre inglés: *alumearth*.

En el informe de la investigación, hecha el 20 de Junio de 1808 en el auditorio de la Royal Institution. Su hermano John Davy publica sus obras completas en 1840 con el título *The Collected Works of Sir Humphry Davy*. En el volumen V *Bakerian lectures and miscellaneous papers*, dentro del capítulo “*Electrochemical Researches On The Decomposition Of The Earths*,” aparece el Artículo: *Inquiries relative to the decomposition of Alumine, Silex, Zircono and Glucine* (Davy 1840, pp 116-122). El último párrafo de este artículo dice concluyendo su infructuosa búsqueda de los metales de las mencionadas tierras:

*“Si lo hubiera logrado les habría propuesto los nombres **silicium, alumium, zirconium, y glucium**”(v. Fig. 23)*

El aluminio ya tiene un nombre propio y se convierte en la primera razón de ser de la alúmina, aunque sea la última en registrarse en la Ilustración. Davy abrió la puerta a Oersted, Woehler, Deville y finalmente Hall y Heroult, que patentan en 1886 un proceso de obtención de aluminio que sigue vigente hoy.

En la Tercera parte se verá lo sucedido con la alúmina al final de la Ilustración.

## Tercera Parte: SISTEMAS DE ALUMINA EN LA ILUSTRACIÓN

En la segunda parte de la tesis se han revisado los procesos industriales y científicos que desarrollaron el conocimiento de la alúmina en el siglo XVIII y permitieron vislumbrar la producción industrial de alúmina, que históricamente se atribuye a Le Chatelier en 1855 con su patente de un proceso carbotérmico de extracción de alúmina de la bauxita ya conocida desde 1821, retraso este que sigue esperando alguna investigación.

En dicha segunda parte se rastrearon las *razones de ser* de la alúmina, lo que constituye el primer objetivo de esta tesis, concluyendo con la última y definitiva, la publicación en Junio de 1808 por Davy del informe de sus ensayos de descomposición por electrolisis de varias tierras después de su éxito con la sosa y la potasa, en los que bautizó al metal que no consiguió aislar a partir de la alúmina como *alumium*. Este hecho es considerado por la historiografía contemporánea como el inicio de la historia del aluminio.

Pero ¿cómo se producía industrialmente la alúmina en la Ilustración? Encontrar una respuesta a esa pregunta es el segundo objetivo de la tesis.

El inicio de la producción industrial de alúmina, está asociado al inicio de la producción industrial de aluminio, la producción por vía química que llevaría a cabo Deville por reducción de cloruro de aluminio con sodio. La utilidad que determinará la calificación de industrial al proceso Le Chatelier-Deville para la obtención de alúmina, será la puesta en el mercado de un metal nuevo en cantidades comerciales, aunque en un principio utilizable solo en joyería, por su elevado coste.

En el periodo 1683-1808 se podría establecer un paralelismo entre la alúmina y el alumbre similar al que existe hoy entre la alúmina química y la metalúrgica. La producción de alúmina no tenía dimensión industrial, era una producción artesanal reservada a ciertos oficios y estaba a un nivel que podríamos calificar en lenguaje actual como de laboratorio.



El método recogido en el libro *Fundamenta Chymiae* de Stahl fue el utilizado para extraer la tierra del alumbre durante todo el siglo XVIII y la alúmina que empleó Davy en sus ensayos para aislar el aluminio, se puede suponer que seguía dicho método, pues Davy no menciona nada al respecto.

Pero en 1808 los constituyentes del alumbre, es decir, sus ácidos y sus tierras, óxidos se debería decir ya, estaban perfectamente identificados, eran el ácido sulfúrico, la alúmina y la potasa. También el conocimiento del aceite de vitriolo, el ácido sulfúrico, así como el de los álcalis mineral, vegetal y volátil también habían avanzado mucho y en la industria del tinte, principal consumidora del alumbre y sus derivados, se podía pensar en sintetizarlos para reducir su coste o mejorar su calidad.

La utilidad de cualquier novedad, descubrimiento o invento suele acarrear su consideración como industrial y según ello, antes de preguntarse cómo se producía industrialmente la alúmina, procede la pregunta: ¿Para que servía la alúmina en 1808?. Si la pregunta se traslada a los tiempos de Lavoisier o Stahl, una respuesta podría ser que para nada, pero se podría matizar que se utilizaba sin conocer que se estaba utilizando, afirmación válida para su uso durante toda la antigüedad, ya que las propiedades del alumbre dependían de su “principio activo”, se podría decir en lenguaje actual, la alúmina.

Stahl no distinguió la alúmina de la cal tradicional y Lavoisier no distinguió la alúmina de la cal del alumbre que es un aluminato de sodio. Demostrar que era falsa la afirmación de que la alúmina no servía para nada en el siglo XVIII fue uno de los retos iniciales de esta tesis. Y se puede extender la afirmación hasta el primer uso registrado del alumbre. La alúmina era útil en su forma de sal doble de alúmina y potasa ya en Mesopotamia.

Admitiendo la hipótesis de que la alúmina era el principio activo del alumbre se puede decir que las utilidades de la alúmina eran numerosas en 1808. Un escueto recuerdo de los sistemas industriales donde la alúmina tenía protagonismo sería:

Tratamiento de aguas

Industria textil desde el hilado al acabado de los tejidos

Industria de la piel y el cuero

Fabricación de lacas, pigmentos, tintas, tintes

Industria cerámica

Medicamentos y productos farmacéuticos

Tratamientos del papel

Material auxiliar de imprenta

Industria de refractarios para la metalurgia

Coloreado del vidrio y esmaltes

Aditivo para yesos

Endurecedor del sebo

Etc

### Métodos y aplicaciones

Teniendo tantas utilidades, ya debería existir algún método de producción industrial antes de 1855. Efectivamente la alúmina se fabricaba descomponiendo una solución de sulfato de alúmina con un álcali, según Charles de Laboulaye (1813-1886), científico francés, editor en 1847 de un *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, obra de gran éxito pues se reeditó siete veces hasta 1891 que ha sido mencionada varias veces en el capítulo de Procesos Industriales. Este diccionario no es un Manual de Química y carece del rigor de una publicación científica, fuera de lugar en un Diccionario enciclopédico. Pero su éxito comercial hace pensar que lo que recoge sobre el sulfato de alúmina era conocimiento de dominio público en 1847, además de

ser avalado por un comité de redacción de expertos científicos, técnicos, profesores, industriales, etc.

En la entrada ALUMINE de dicho diccionario se comenta la utilidad de la alúmina:

*La alumina pura es apenas conocida en el comercio pero reemplazará al alumbre y al sulfato de alúmina en muchas aplicaciones, en cuyas sales la alúmina es el único producto útil al consumidor.*

*Su ventaja mayor es poder transformar a voluntad la alúmina pura en sulfato, en acetato, o en cloruro. Esta ventaja es evidente en el caso del acetato de alumina que se obtiene hoy por doble descomposición del alumbre y del acetato de plomo.*

En dicha entrada se dedica un apartado al sulfato de alúmina, donde se explica como se hace y su utilidad:

*El sulfato de alúmina es un producto muy nuevo en la industria y que ha tomado en dos o tres años una gran extensión.*

*El sulfato de alúmina está destinado a reemplazar los alumbres potásico y amónico ... produciendo alúmina a un precio mucho menos elevado que el de los alumbres.*

*La preparación del sulfato de alúmina consiste en tratar una arcilla con ácido sulfúrico.*

Dice el diccionario de Laboulaye que el sulfato de alúmina era un producto muy nuevo, destinado a reemplazar los alumbres potásico y amónico. Marggraf ya había demostrado esta utilidad del sulfato cien años antes, y lo había publicado en francés en París en 1762, pero su artículo XV comentado en Procesos Científicos no llegó al conocimiento ni de Laboulaye ni seguramente ninguno de los miembros del comité de redacción de su diccionario. Se volverá más adelante al conocimiento químico en 1808 que prueba que a los químicos de la época sí les habían llegado los descubrimientos de Marggraf, pero una cosa es la

teoría de un Manual de Química y otra la recopilación de un Diccionario enciclopédico de prácticas industriales.

Finalmente se cita del diccionario de Laboulaye el procedimiento de fabricación de la alúmina a partir de sulfato de alúmina, cuya fabricación se explicó antes:

*Para preparar la escasa alúmina pura que las fábricas de productos químicos suministran al comercio, se trata una solución de sulfato de alúmina con una disolución de cristales de carbonato de sosa. La sosa desplaza a la alúmina que se precipita y se forman sulfato de sosa y ácido carbónico. Se recoge el depósito y se lava para quitar los restos de sulfato de sosa. Se deja escurrir, se seca y se calcina ligeramente, porque si se completase la calcinación sería difícilmente atacable por los ácidos.*

Esta referencia bibliográfica deja claro un proceso de fabricación de alúmina a partir de ácido sulfúrico, arcilla y carbonato de sosa, proceso destinado a *reemplazar el alumbre en muchas aplicaciones*. Este procedimiento, que como se recordó antes describió Marggraf en 1762, fue pronto desplazado por el de Deville y algunos autores contemporáneos afirman que *“esta ruta ácida (la del sulfúrico y la arcilla) jamás fue usada para preparar alúmina, solo se usó para preparar sulfato de aluminio”* (Habashi 2008).

Cabría completar la cita anterior con una referencia a un prometedor nuevo proceso de extracción de alúmina de la arcilla por vía ácida, en este caso con ácido clorhídrico. Se trata del proceso Orbite, basado en los ensayos realizados por el US Bureau of Mines a principio de los años 1980 (Sawyer, Turner 1985) e investigaciones posteriores a 2004 que llevaron a la creación de la corporación canadiense Orbite Technologies Inc. en 2010 en cuyos objetivos está la producción de alúmina metalúrgica a partir de arcillas aluminosas y de residuos como los barros rojos y las cenizas volantes.

### Confirmaciones teóricas

Quizá no se pueda negar la evidencia de que la alúmina sólo se fabricaba a escala de laboratorio en el 1800. Pero se van a explorar a continuación otras fuentes más teóricas y rigurosas.

Georg F. Hildebrandt (1764-1816) profesor de Medicina, Física y Química en la Universidad de Erlangen-Nürenberg publicó una enciclopedia química en ocho volúmenes en 1799 (Hildebrandt 1799) La revista *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* editada desde 1797 por William Nicholson, fue una de las primeras revistas científicas de Gran Bretaña. Esta revista publicó un artículo de Hildebrandt en Mayo de 1800, el año en que Nicholson había descubierto la electrolisis del agua construyendo una pila con los planos de regalo Volta.

El artículo de Hildebrandt titulado *“On the different Effects of the Alkalis in the Production of Alum”* (Hildebrandt 1800). deja claro que el interés del momento era hacer alumbre *“factitious”* (artificial), es decir, sintético a partir de sulfúrico y arcilla. En realidad, sintéticos eran ya los alumbres pues solo la tierra principal (la alúmina) era de origen “mineral”, la otra tierra se añadía con un álcali fijo o volátil, o como también se llamaban entonces a los álcalis, mineral (sosa), vegetal (potasa) o animal (amoníaco).

Hildebrandt cita a Marggraf diciendo que:

*But Marggraf has long ago observed , that the sulphate of alumine cannot be generated from argil and sulphuric acid alone, and that an alkaline salt is one of its essential ingredients.*

No se consultó el original en alemán pero la traducción da a entender que el autor confunde el  *sulphate of alumine* con el *alumbre*. No es así porque Hildebrandt menciona en una nota de la página 51 del artículo el hallazgo de Klaproth en 1795 de potasa en el alumbre nativo de Miseno , lugar cerca de Nápoles (Klaproth 1801, pp. 266-269) y en una cierta confusión especula si la otra tierra necesaria sería la sosa, cosa que ya había rechazado claramente Marggraf.

El conocimiento teórico de la producción de sulfato de alúmina con sulfúrico y arcilla era de dominio público, podría decirse, pero el interés por las aplicaciones industriales de la alúmina no correspondía a Hildebrandt evaluarlo, lo que el buscaba era identificar la segunda tierra del alumbre.

Se continúa la búsqueda con un Tratado de Química escocés de 1802. El químico y mineralogista Thomas Thomson (1773-1852) escribe los artículos Chemistry, Mineralogy y Dyeing de la Encyclopedia Britannica de 1796 y en 1802 publica en Edimburgo su obra en cuatro volúmenes *A system of chemistry* (Thomson 1802), que también será objeto de sucesivas reediciones hasta 1831.

El vol. 3 de la edición de 1802 tiene un capítulo dedicado al análisis de las aguas minerales, donde presenta una relación exhaustiva de métodos analíticos para determinar la presencia de todo tipo de sales minerales en el agua, que recuerda a Hoffmann, el compañero de estudios y profesorado de Stahl, considerado impulsor del uso de las aguas minerales en la medicina cien años antes.

En la pag 394 de dicho volumen incluye un método para extracción de la alúmina de dichas aguas precipitándola junto con la magnesia con amonio o cal y luego separándola con potasa o con ácido muriático precipitando con un carbonato alcalino y luego extrayendo la magnesia con muriático diluido. El nivel de conocimientos químicos del joven Thomson era muy amplio, distingue con claridad el alumbre y el sulfato de alúmina y ofrece una detallada recopilación de procedimientos analíticos de centenares de sales solubles en agua, pero parece una obra exclusiva para analistas químicos.

Curiosamente buscando información sobre fabricación de sulfato de alúmina en la Encyclopedie Methodique Desmarest, Paris 1803 se encuentran referencias al sulfato de alúmina asociadas con aguas minerales, por ejemplo en la entrada AVEYRON. Pero en Acido sulfúrico se dice que el sulfato de alumina es el alumbre, como había dicho Lavoisier, aunque ya Vauquelin había demostrado que además de alúmina tiene un álcali.

Quizá la comparación del rigor de Thomson con las imprecisiones léxicas de Desmarest están en el diferente alcance conceptual de ambas obras, una una enciclopedia y otra un tratado. Habría que haber buscado una pareja más equilibrada con T. Thomson, quizá con C. L. Berthollet. Como curiosidad se cita el prólogo del *System of Chemistry* de Thomson en 1802, donde lamenta que no existen libros de texto de Química en Inglaterra, al contrario de lo que ocurre en Francia y de que las obras de Boerhaave, Macquer, Fourcroy, Chaptal, Lavoisier, etc fueron traducidas antes de que ningún escritor inglés moderno lo hiciera, mientras que en Inglaterra no podían presumir de obras similares de Black, Cavendish, Kirwan, etc.

Pero en el volumen I del libro de Thomson de 1802 se incluye un capítulo sobre la alúmina cuyo contenido si sería de provecho para los industriales interesados en mejorar sus procesos de fabricación. En la página 443 dice:

*La alúmina se puede obtener por el siguiente proceso: Disolver alumbre en agua y añadir amonía a la solución hasta que se forme un precipitado. Decantar, sacar el líquido, lavar el precipitado con gran cantidad de agua y después dejarlo secar.*

Explica después que según la concentración de la solución de alumbre se pueden formar dos tipos de alúmina una esponjosa y otra gelatinosa, que retienen diferentes cantidades de agua y por ello tienen un comportamiento distinto durante la calcinación. Después de una descripción de sus propiedades concluye con sus aplicaciones:

*Ninguna tierra es de mayor importancia para la humanidad que la alúmina. Forma la base de porcelanas y greses de todo tipo y de los crisoles y recipientes empleados en todas las manufacturas que requieren fuerte calor. Es absolutamente necesaria para tintoreros y estampadores y se emplea con muchas ventajas por los bataneros y limpiadores de tejidos.*

Para resaltar el conocimiento el conocimiento teórico del sulfato de la alúmina se cita a continuación la obra del botánico suizo Nicholas T. Saussure *Recherches chimiques sur la végétation* (Saussure 1804, p.

207) que en el capítulo “Vegetación en medios desprovistos de oxígeno” afirma que:

*No se puede dudar de la presencia de vapores amoniacales en la atmósfera, cuando se ve que el sulfato de alúmina puro termina por cambiar, al aire libre, en sulfato amoniacal de alúmina.*

Una última referencia teórica es el Diccionario de Química y Mineralogía de W.C. Ottley publicado en Londres en 1826. En ella se describe el proceso de obtención de la alúmina por descomposición de una solución de sulfato de alúmina por otra de carbonato de potasa. En cuanto a la utilidad aquí se dice que el único interés son las lacas. Se encontró una crítica demoledora (Quarterly 1827) de este diccionario en *The Quarterly Journal of Science*, revista publicada por la Royal Institution, que califica al libro como mero álbum de cromos. Es oportuno mencionar que en esta época Davy ya era presidente de la Royal Society y se había enfrentado en 1821 a su discípulo Faraday por publicar sin su conocimiento un artículo sobre la rotación electromagnética. La crítica incluye no solo a este diccionario de Ottley sino a otros tres más, lo que confirma el interés social por la Química en Londres en el primer cuarto del siglo XIX, despertado en gran parte por la obra de Davy en los primeros años. Este interés facilitaría la publicación de libros que deberían considerarse como divulgativos, como es el caso del anterior.

Queda de manifiesto entre las obras citadas de Hildebrandt, Thomson, Desmarest, Saussure y Ottley que sus conocimientos sobre la alúmina requerirían una profundización que no se considera muy prometedora a efectos del segundo objetivo de esta tesis de encontrar procedimientos de fabricación de alúmina en 1800. Al fin y al cabo la alúmina no se sabía extraer más que del alumbre (sulfato de alúmina y potasa) o del sulfato de alúmina. Extraerla del alumbre era un derroche, pues suponía emplear como materia prima un producto muy elaborado, lo que carecía de utilidad económica y a partir del sulfato todavía era más caro.



### Confirmaciones prácticas

Se podría decir que la industria del alumbre conocía de antiguo el sulfato de alúmina pues las variantes principales de alumbre, el potásico y el amónico, se fabricaban sintéticamente desde antiguo, por reacción de una solución de sulfato de alúmina, producida por lixiviación de tierras y rocas aluminosas, con otras soluciones de sales de potasa o amoniaco, pero tuvieron que pasar centenares de años para que estas prácticas de la industria medieval se pudieran expresar así en 1800.

Las confirmaciones prácticas de la industria del sulfato de alúmina se empiezan a rastrear en la industria del sulfúrico, que era un reactivo y componente fundamental en la síntesis del sulfato de alúmina con arcilla.

El interés industrial por el sulfato de alúmina se pensaba que debió surgir cuando se empezó a disponer de ácido sulfúrico en cantidades industriales. El sulfúrico y la alúmina eran primos hermanos, pues sus ancestros los vitriolos y los alumbres eran parientes; unos eran sulfatos de metales convencionales y otros de metales/tierras desconocidas. Además sus aplicaciones artesanales eran comunes, por ejemplo, el vitriolo verde (sulfato férrico) se usaba como mordiente en 1576, según *The Chemical Revolution* de Archibald Clow (Clow 1952, p. 131) de donde está sacada gran parte de esta historia del sulfúrico. Pero el aceite de vitriolo empieza a producirse industrialmente después que en Birmingham en 1746 el joven médico John Roebuck (1718-1794) desarrollara un método para condensar el ácido sulfúrico en grandes cámaras de plomo, método que le permitió una situación de monopolio hasta que fué copiado, pues no patentó su descubrimiento hasta 1771 cuando ya se habían construido otras fábricas. En los usos que menciona Clow del antiguo vitriolo aparecen la industria del curtido, la del lino y la farmacia, que pudiera tener alguna relación con el alumbre. Edimburgo era entonces uno de los centros intelectuales más avanzados de Europa y Roebuck construyó su segunda fábrica allí en 1749, entre otros motivos buscando su uso en el blanqueo del lino, tras el que había una potente industria en Escocia.

Las cenizas y la leche ácida fueron sustituyéndose por el ácido sulfúrico y algunos drogueros, los mismos que suministraban alumbre a la industria textil entraron en la industria del sulfúrico en los años 1760 en Inglaterra, pero no se menciona la fabricación de sulfato de alúmina. El impulso que estaba tomando la industria textil con la mecanización aumentaba la demanda de los blanqueadores y curadores de hilo y de los acabadores de las telas, tintoreros y estampadores y esto ofrecía oportunidades de negocio a los fabricantes y proveedores de todo tipo de productos químicos para el tinte, donde los descubrimientos se mantendrían en secreto, lo cual puede explicar esta ausencia. Agustí Nieto en su obra *Colouring Textiles* afirma que en esa época la Química se identificaba con el tinte y Archibald Clow afirma en su capítulo “La transición paleotécnica” : *“Hasta la síntesis del primer tinte artificial por William Perkin en 1856 la industria de los álcalis y la química eran prácticamente sinónimos”*.

También cabría citar aquí que el siguiente gran impulso para el sulfúrico dentro del XVIII vendría de la fabricación de sosa a partir de sulfúrico y sal común, proceso más difícil de desarrollar en Inglaterra por no disponer de sal barata, ya que la mayor parte de la sal disponible era de importación y además tenía una carga impositiva que no hacía rentable su uso industrial. Ello motivó que en el año 1781 se declarase el álcali cuestión de interés nacional y en los años siguientes se registrasen varias patentes para fabricación de sosa, entre ellas una prácticamente idéntica a la de Leblanc de 1791.

Clow atribuye la segunda revolución industrial del siglo XVIII (pag. 145), la de la decoloración (bleaching), al posterior impulso de la manufactura del ácido sulfúrico, cuyo capítulo termina relacionando el sulfúrico con el alumbre. Charles Macintosh (1766-1843) *“había experimentado la influencia de la comercialización del ácido sulfúrico en su fábrica de alumbre (pag 148)”*, fábrica que arrancó en Paisley, cerca de Glasgow en 1797, empleando como materia prima los esquistos aluminosos de los escombros de una mina de carbón acumulados durante doscientos años. Su alumbre era más barato que el de Yorkshire y eso convirtió a su fábrica en la más grande del país. Pero el sulfúrico barato terminaría afectando a Macintosh porque en torno a 1825, cuando se levantaron los aranceles de la sal, se *pudo fabricar con arcilla y ácido (pag. 241)*.

Es decir, que el interés industrial por el sulfato de alúmina no se manifestó hasta bien avanzada la producción industrial del sulfúrico y la conclusión es que en 1808 la alúmina se extraía del alumbre. Incidentalmente, otros productos necesarios para la industria textil, como el decolorante en polvo (muriato cálcico) o el azul de Prusia (prusiato férrico), fueron obtenidos por fabricantes de ácido sulfúrico antes que el sulfato de alúmina.

No obstante, parece obvio que teniendo las sales de alúmina tantas aplicaciones, esta asociación de la alúmina con la industria textil tuvo que ser sólo una de las múltiples asociaciones que pudieron surgir. Seguramente otras aplicaciones industriales a finales del XVIII como los refractarios para la siderurgia, la industria cerámica, etc. contribuyeron a independizar la alúmina del alumbre y dieron lugar a la producción industrial del sulfato de alúmina con sulfúrico y arcilla, seguida de la producción industrial de alúmina con sulfato y sosa.

Pero - aunque el marco temporal de esta tesis se reduzca a la Ilustración - no es historia-ficción pensar que la alúmina hidratada propiamente dicha, tendría aplicaciones artesanales en la Antigüedad para el tintado de vidrios o el esmalte de metales, por ejemplo. En cualquier taller de momificación del Antiguo Imperio Egipcio tenían alumbre, natrón y la praxis química necesaria para hacerlo.

Al final, vuelve a surgir la importancia del léxico. Quizá no se hayan podido encontrar todavía las traducciones correctas de alumbre y alúmina en los léxicos artesanales de la Antigüedad y es probable que el alumbre y la alúmina se denominasen de la misma forma.

Se termina la tesis comentando la dedicatoria: *A Emilio Abella, maestro en la fundición de aluminio y en la fabricación de sulfato de alúmina*. Esta coincidencia de la fundición de aluminio y la fabricación del sulfato de alúmina sucedió en la fábrica de ENDASA en San Juan de Nieva (Avilés), desde 1948 hasta finales de los sesenta.

ENDASA fue constituida en 1943 para suministrar aluminio a la industria española. Ante la escasez de energía eléctrica y la

disponibilidad en el mercado de chatarra de aluminio de aviación, el 7 de Julio de 1948 ENDASA arrancó un taller de refusión de chatarras en San Juan de Nieva que fué la primera de sus fábricas hasta el año 1953 cuando arrancó la electrolisis de Valladolid.

En 1948 la purificación de agua potable en Europa todavía se hacía con alumbre. En la aplicación del alumbre para purificar el agua potable, la pureza del alumbre seguía siendo ventajosa, frente a las impurezas del sulfato de alúmina hecho de arcilla. La disponibilidad de alúmina pura barata, extraída de la bauxita, después de la Segunda Guerra Mundial, hizo rentable la fabricación de sulfato de alúmina a partir de alúmina.

En 1948 ENDASA aprovechó sus contactos con proveedores de alúmina - para su nueva planta de electrolisis en Valladolid - para producir en San Juan de Nieva sulfato de aluminio, como floculante para la purificación de aguas.

El sulfato de alúmina, hecho con sulfúrico y alúmina hidratada, desplazaba al alumbre como floculante en la industria de purificación de agua, lo cual tiene un curioso paralelismo con la sustitución del alumbre por el sulfato de alúmina en los primeros años del siglo XIX, como mordiente en la industria del coloreado textil y la fabricación de acetatos de alúmina y otros mordientes por reacción directa con la alúmina de los ácidos correspondientes.

En 1948 el sulfato de alúmina se empezó a fabricar en España a partir de alúmina, pero hubo un tiempo - en la primera mitad del siglo XIX - cuando la alúmina se fabricaba en Europa a partir de sulfato de alúmina.

## CONCLUSIONES

Esta tesis ha contribuido a precisar el conocimiento historiográfico de la transición de la *tierra del alumbre* a la *tierra de la arcilla*, designaciones por las que se conocían a la alúmina al principio y al final de la Ilustración respectivamente, aunque la segunda designación duró solo unos treinta años y en los años 1860 fue sustituida definitivamente por la *alúmina de la bauxita*. La tesis confirma que una producción industrial de alúmina a partir de arcilla, sulfúrico y sosa, estuvo asociada en Inglaterra en el segundo cuarto del siglo XIX a la industria de la coloración de las telas, a la que estuvo asociada su antecesor el alumbre, sulfato doble de alumina y potasa, desde la Antigüedad.

La alúmina en 1808 se extraía descomponiendo una solución de alumbre con una solución de un álcali, lo mismo que había descrito Stahl en 1683 y se venía practicando desde antiguo, aunque su uso en la mayoría de las aplicaciones fuera como solución de alumbre.

Pero en los años 1820 el sulfato de alúmina fabricado a partir de arcilla y sulfúrico reemplazó industrialmente al alumbre y luego la alúmina, extraída del sulfato con sosa, permitió fabricar sus sales mordientes para el pintado de las indianas a un precio más económico. Las *indianas* eran las telas estampadas en diferentes colores por una cara y los mordientes necesarios para industrializar su producción produjeron un gran desarrollo de la industria química en el primer cuarto del siglo XIX, que han llevado a autores como Agustí Nieto a afirmar que la química se asociaba con el coloreado de los tejidos al final de la Ilustración.

Esta realidad de la producción industrial de alúmina con arcilla, sulfúrico y sosa suele ser ignorada por la historiografía del aluminio anglo-francesa, que pasa directamente de la tierra del alumbre al óxido de aluminio, la “tierra” de la bauxit. No ocurre lo mismo con la historiografía ni la industria de la alúmina alemanas, que conservan en su vocabulario actual el nombre *tonerde (tierra de la arcilla)* para la alúmina, nombre que se remonta a la primera mitad del siglo XVII.

En los objetivos de la tesis se planteó desde su inscripción el buscar las *razones de ser* de la alúmina en la Ilustración. El concepto *razón de ser* no está entre las locuciones de la palabra *razón* en el DLE, pero parece oportuno en la Ilustración, periodo que se asocia con un predominio de la razón, para referirse a los motivos que dieron lugar a la alúmina industrial.

La Segunda Parte de la Tesis dedicada a los Procesos desarrollados durante la Ilustración que tuvieron alguna relación con la alúmina se dividió en dos capítulos uno relacionado con los científicos y otro con los técnicos. De cada uno de ellos se han extraído las correspondientes razones de ser.

Del capítulo de los procesos científicos se destacan los siguientes hitos como *razones de ser* de la alúmina:

- 1683 Stahl y muchos químicos de su época atribuyen una naturaleza calcárea a la tierra del alumbre
- 1718 Geoffroy el Viejo desarrolla una teoría de la afinidad básica para el avance de las teorías y prácticas químicas desarrolladas en el XVIII
- 1722 Hoffman especula que la alúmina sea una tierra particular
- 1728 Geoffroy el Joven demuestra que la tierra del alumbre forma parte de la arcilla
- 1746 Pott en su *Lithognoseologie* llama *thonichte erde* (tierra arcillosa) a la base del alumbre porque la arcilla formaba alumbre con el ácido sulfúrico.
- 1754 Marggraf demuestra que la naturaleza de la tierra del alumbre no guarda relación con ninguna otra tierra conocida y confirma que se puede obtener alumbre con ácido sulfúrico, arcilla y un álcali fijo o volátil
- 1761 Macquer en su *Dictionnaire de Chymie* (Macquer 1761, p. 514) explica la *Extraction de l'Alun des matières pyriteuses & des terres alumineuses*.
- 1767 Bergman multiplica las tablas de afinidades que impulsan los análisis por vía húmeda

- 1776-1787 Scheele, Priestley y Lavoisier descubren el oxígeno y se puede
- afirmar que la alúmina es el óxido de un metal desconocido
- 1797 Klaproth y Vauquelin demuestran que el alumbre es un sulfato doble de alúmina y potasa
- 1808 Davy informa de sus ensayos de electrolisis de la alúmina y llama *aluminium* al metal que no consiguió aislar.

En cuanto a los procesos industriales se destacan como *razones de ser* de la alúmina los siguientes:

- 1709 Böttger y Tschirnhaus encuentran una técnica de fabricación de porcelana después de probar centenares de tierras. El caolín, silicato de alúmina hidratada, será la mejor tierra para fabricar alúmina con sulfúrico.
- 1709 Abraham Darby revoluciona el mundo de la siderurgia en Europa usando cok de carbón que permitirá la producción industrial de acero
- 1712 Thomas Newcomen revoluciona los recursos energéticos utilizando el vapor de agua en la extracción de agua de minas de carbón
- 1733-1769 Kay, Hargreaves y Arkwright automatizan las operaciones de hilado, retorcido y tramado previas al tejido
- 1746 John Roebuck desarrolla la fabricación del ácido sulfúrico en cámaras de plomo. Una de sus aplicaciones es el blanqueo de hilos y tejidos.
- 1775 James Watt desarrolla una máquina de vapor eficiente
- 1787 Cartwright construye un telar mecánico
- 1791 Nicolás Leblanc patenta su método de fabricación de sosa con sal común. Algunos autores atribuyen a los blanqueantes industriales la segunda revolución industrial que permitió mantener el impulso que había tomado la industria textil
- 1794 Charles Tennant mejora el blanqueado con la introducción del polvo de blanqueo a base de muriato cálcico

- 1797 Charles Macintosh abarata el precio del alumbre extraordinariamente empleando pizarras de escombreras de minas de carbón, lo que da una ventaja económica al alumbre frente al sulfato de alúmina
- 1825 La sosa Leblanc se abarata en Inglaterra al reducirse los aranceles de importación de la sal, lo que hace que el sulfato de alúmina hecho con arcilla y sulfúrico compita con el alumbre. En esta competencia colaboraría la producción al mismo tiempo de alúmina con sulfato de alúmina y sosa, que empezaría a usarse industrialmente en la síntesis de mordientes, como el acetato de alúmina

El tercer objetivo de la tesis era valorar la utilidad de la Historia de la Técnica en las Escuelas de Ingeniería, tema objeto de algún debate entre los responsables de los programas de enseñanza.

*Todas las historias son relevantes.*

*La historia de la tecnología es la más relevante.*

M. Kranzberg 1980

Melvin Kranzberg (1917-1995) Se graduó en Historia y Economía y fue Doctor por Harvard. Fue uno de los fundadores de la *Society for the History of Technology* en los EEUU y largo tiempo editor de su revista *Technology and Culture*. Es conocido por sus leyes de la tecnología de las que se han destacado dos relacionadas con la historia. Ayudó a establecer el estudio de la historia de la tecnología e impuso su autonomía como disciplina, basándose en su impacto en la sociedad. En un artículo de 1968 escribió:

*Los ingenieros en general viven en suburbios, votan Republicano y llevan el cliché del conservadurismo. Realmente, aunque no lo quieran, son más revolucionarios sociales que muchos locos políticos radicales. Sus nuevos productos, procesos, sistemas*



*y dispositivos producen profundas transformaciones socio-culturales.*

*Watt, Fulton, McCormick, Edison o Marconi cambiaron la faz del mundo.*

La conclusión sobre el comienzo de la fabricación de alúmina a partir de arcilla, no va a producir ninguna transformación socio-cultural pero tiene interés para la historiografía. Y puede tener interés también para la investigación minera o la de química industrial.

Bastaría recordar las tesis de los años ochenta investigadas en la Escuela de Minas de Oviedo sobre recursos mineros de aluminio alternativos a la bauxita tituladas *“Aprovechamiento hidrometalúrgico, por vía ácida, de minerales aluminosos”* (Encinas 1980) y *“Aprovechamiento de cenizas volantes de central térmica: compactación e hidrometalurgia”* (Galán 1984). Ambas tesis concluyeron con la recomendación del proceso de obtención de alúmina por lixiviación de arcilla con ácido sulfúrico, sin hacer mención a la historia de este procedimiento siquiera en el siglo XIX, que por otra parte hubiera evitado algún ensayo. La referencia bibliográfica más antigua de ambos trabajos es de 1934 lo cual se puede explicar de dos formas: por la dificultad de acceso a los recursos historiográficos en 1980 y también por la actitud ante la historia como recurso de investigación.

Y esto no es exclusivo de la Universidad de Oviedo. El profesor Hathi Habashi, catedrático emérito de la Universidad de Laval, Quebec City, experto en Hidrometalurgia y autor de muchos libros y artículos de Historia de la Metalurgia, en su reciente publicación *“Aluminum History and Metallurgy”* (Habashi 2008) dice textualmente:

*“Since iron and titanium are also partially dissolved in acid, the precipitate will be contaminated, creating a separation problem. As a result, the acid leaching route was never used to prepare Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; it is used only on a small scale to prepare aluminum sulphate for water treatment”.*

Ni es exclusivo de las Instituciones de Enseñanza. Se ha comentado en el capítulo de Recursos Materiales que en el Museo Geominero de Madrid en el panel de recursos minerales de aluminio no hay ninguna muestra de alunita, aunque sí se presentan muestras de andalucita, sillimanita y cianita, ignorando la relevancia industrial de la alunita durante 5000 años.

Dichas referencias prueban la lenta evolución que está teniendo la incorporación de los estudios de Historia de la Tecnología a la Universidad, aunque haya estudios como los de Medicina e Ingeniería de Caminos que tengan desde hace tiempo asignaturas de la Historia de la Técnica de su especialidad. No obstante la Historia de la Tecnología va entrando en todas las Escuelas de Ingeniería y se encuentran Cursos de Máster de Historia en muchas de ellas, a pesar de las directrices del nuevo Espacio Educativo Europeo, en alguna manera contrarias al aumento de horas de docencia. Pero hasta en la Universidad de Oviedo ya hay ejemplos de Trabajos Fin de Grado valiosos, como el de la ingeniero industrial Elena Olivares Villegas titulado "*Historia de la Tecnología en Duro Felguera*" (2002), por no citar otras producciones relacionadas con la Historia de la Tecnología.

Por otra parte el interés social por el Patrimonio Industrial ha crecido más que el interés por la Historia y en este campo la participación de la Universidad es más notable que en la docencia e investigación de la Historia de la Tecnología. Un mínimo ejemplo del interés social por el Patrimonio Minero es la consideración del Pozo Santa Bárbara de Turón como monumento por el Instituto del Patrimonio Cultural que se ocupa de su restauración actualmente y es de suponer que este interés también arrastre al interés por la Historia de la Tecnología minera.

Sirva este punto final para reivindicar el estudio de la Historia de la Tecnología en las Escuelas de Ingeniería de esta Universidad.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADARO L. 1981. *Datos y Documentos para una Historia Minera e Industrial de Asturias. Tomo I.* Suministros Adaro. Gijón

ANGEL M. 1988. *Les racines de l'aluminium.* Cahiers d'Histoire de l'Aluminium. Institut pour l'Histoire de l'Aluminium. Paris.

BECCARIA G.B. 1753. *Dell' Eletticismo Naturale ed Artificiale.* Torino.

BELMAR-BERTOMEU 1999. *Nombrar la materia.* Ediciones del Serbal. Barcelona

BERETTA M. 2010. Secrecy, Industry and science. The french glass making in XVIII century. *A Master of Science History: Essays in Honor of Charles Coulston Gillispie.* Editado por Jed Z. Buchwald

BERTOMEU-BELMAR 2006. *La Revolución Química.* Universidad de Valencia

BORGARD P. et al 2005. *L'Alun de Mediterranée.* Publications du Centre Jean Bérard. Nápoles

BOYLE R. 1661. *The Sceptical Chymist.* Reimpresión de Kessinger Publishing Co. Montana, USA

BUENO G. 1990. *Materia.* Pentalfa Ediciones, Oviedo.

BUTTLER W.L., WADLEIGH C.H. 1987. Sterling Brown Hendricks 1902-1981. *A Biographical Memoir.* National Academy of Sciences. Washington D.C.

CALDERON E. 2007. *El secreto de la porcelana.* Roca Editorial. Barcelona

CARBONELL E. 2002 *Una inteligencia operativa.* Nº del 5.6.2002 Revista El Cultural.Prensa Europea del siglo XXI Madrid

CHILDE, V. GORDON. 1952. *New light on the most ancient east.* 4<sup>th</sup> ed. London, Routledge and Kegan Paul.

CHANG K. 2010. "The Great Philosophical Work": Georg Ernest Stahl's Early Alchemical Teaching. *Chymia: Science and Nature in Medieval and Early Modern Europe.* Edit. por M.L. Pérez et al. Cambridge Scholars Publishing. Newcastle, U.K.

CLOW A. 1952. *The Chemical Revolution*. The Batchworth Press. Londres

CORNISH D.C. 1961. *The mechanism of glass polishing : a history and bibliography*. London : British Scientific Instrument Research Association.

CORTES H. 2010. *J.W. Goethe LAS AFINIDADES ELECTIVAS C.D. Friedrich*. Edición y traducción Helena Cortés Gabaudan. La Oficina Ediciones. Madrid

CRAIG, VAUGHAN & SKINNER 2007. *Recursos de la tierra. Origen, uso e impacto ambiental*. Pearson Educación. Madrid

CROSSLEY, D.W., 1998. "The English Glassmaker and his search for materials in the 16th and 17th centuries." In McCray, P. (ed) *The Prehistory and History of Glassmaking Technology*, Westerville: Ohio, American Ceramic Society. pp. 167-179

DAVIS K. 2010. Material Review: Alumina ( $Al_2O_3$ ). *Nº 2 School of Doctoral Studies (European Union) Journal*. Isles Internationale Université. Bruselas. Pag. 109.

DAVY H. 1840. *The Collected Works of Sir Humphry Davy*, edited by his brother John Davy. Smith, Elder & Co, Londres. Digitalizado por Google

DELUMEAU J. 1962. *L'Alun de Rome. XVe XIXe siècle*. S.E.V.P.N. Paris

DÉZSY J. 1998. *Alaun: Macht und Monopol im Mittelalter* Karolinger Verlag. Viena.

DJERASSI C. y HOFFMANN R. 2001. *Oxygen: A play in 2 Acts*. John Wiley. New York

ECO Umberto, 1970. *La definición del Arte*. Ed. Martinez Roca. Madrid

ENCINAS M. 1980. *Estudio sobre el aprovechamiento hidrometalúrgico, por vía ácida, de minerales aluminosos procedentes de yacimientos terciarios españoles*. Cátedra de Metalurgia Extractiva. Escuela de Minas. Oviedo

FINLAYSON C. 2014. *The improbable primate. How water shaped human evolution*. OXFORD University Press

FRANCO SILVA A. 1996. *El alumbro del reino de Murcia*. Real Academia Alfonso X el Sabio. Murcia

GALAN E. 1984. *Aprovechamiento de cenizas volantes de central térmica: compactación e hidrometalurgia*. Cátedra de Metalurgia Extractiva. Escuela de Minas. Oviedo

GLEESON J. 1999. *El arcano*. Editorial Debate. Madrid

GRACIA NORIEGA 2008. *Historias de Covadonga*. Editorial Laria. Oviedo

GUIMERA A. y DELGADO J.M. 1996. El proceso de transmisión de un texto manuscrito del siglo XVIII: Los *Diálogos Familiares* de Marcelo Dantini. Artículo en *El Siglo que llaman Ilustrado. Homenaje a Fco. Aguilar Piñal*. pp 493-507. CSIC. Madrid

HABASHI F. 1988. "One Hundred Years Bayer Process for Alumina Production" *Arab Mining Journal* 8.3,4 (1988): 24-32. Available at: [http://works.bepress.com/fathi\\_habashi/56](http://works.bepress.com/fathi_habashi/56)

HABASHI F. 1999. *A Textbook of Hydrometallurgy, 2nd ed.* Quebec City, Canada Available at: [http://works.bepress.com/fathi\\_habashi/3](http://works.bepress.com/fathi_habashi/3)

HABASHI F. 2008. Karl Josef Bayer and his time. – Part 1. *Aluminum, history and metallurgy*. Metalurgie Extractive Québec. [http://works.bepress.com/fathi\\_habashi/](http://works.bepress.com/fathi_habashi/)

HABASHI F. 2010. *Aqua science through the ages*. Laval University. Québec City. Canada

HENDRICKS B. S. 1937. *The crystal structure of alunites and the jarosites*. Am. Mineral 22, pp. 773-784. (Según artículo obituario de Linus Pauling en *American Mineralogist*, Volume 67, pags. 406-409, 1982)

HERNANDEZ ORTIZ F. 2009. *Los alumbres de Rodalquilar Las otras minas*. Instituto de Estudios Almerienses. Almería

HILDEBRANDT G.F. 1799. *Encyclopediae der Gesamten Chemie. Chemical Encyclopedia*. Erlangen.

HILDEBRANDT G.F. 1800. On the different Effects of the Alkalis in the Production of Alum. Vol 4. May 1800. Art. I. *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*. Editor W. Nicholson. Londres 1801. Digitalizado por Google.

HOLMES F.L. 1962. *From Elective Affinities to Chemical Equilibria: Berthollet's Law of Mass Action*. Vol. 8. CHYMIA Journal. University of Pennsylvania Press

HYLAND D. 2014. Energy's future: Wind and aluminum. *AIAA Propulsion and Energy Forum*. Cleveland OH.  
<http://www.aiaa-propulsionenergy.org/Forum.aspx?id=24466> visto 6.9.15

IUPAC 1970. *Nomenclature of Inorganic Chemistry. 2nd edition. Definitive Rules 1970*. Vol 28, nº 1, 1971 PAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. Butterworths. London. [www.iupac.org](http://www.iupac.org)

KAWAMURA Y. 2013. *Lacas Namban. Huellas de Japón en España. IV Centenario de la Embajada Keicho*. Museo Nacional de Artes Decorativas. Madrid

KLAPROTH M.H. 1801. *Analytical Essays Towards Promoting the Chemical Knowledge of Minerals*. Londres. 1801 Digitalizado por Google

LABOULAYE C. editor 1847 *Dictionnaire des arts et manufactures, de l'agriculture, des mines, etc.* Librairie du Dictionnaire, Paris. Edición digital: e-rara.ch

LERMA J. 2000. La minería del alumbre en la comarca Andorra-Sierra de Arcos (s. XVI-XIX). Nº 5 . *Revista de Andorra*. pp.150-186. Centro de Estudios Locales de Andorra. Andorra (Teruel)

LEVEY M. 1958. Alum in Ancient Mesopotamian Technology. *Isis*, Vol. 49, No. 2, pp. 166-169

LOPEZ R.S. 1950. Review of The earliest Chemical Industry by Charles Singer. *The Journal of Economic History*. Vol 10. Nº 1.(Mayo 1950), pp 66-68

LU P.J. et al 2005. The earliest use of corundum and diamond, in prehistoric China. *Vol. 47, Nº 1, pp. 1-12 Archaeometry*. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York

MACQUER P.J. 1778. *Dictionnaire De Chymie contenant la théorie et la pratique de cette science, son application a la physique, a l'histoire naturelle*. Vol. 2. Obra digitalizada por Google.

MARGGRAF A.S. 1762. *Opuscules Chymiques*. Tome Second. Paris. Digitalizado por Universidad de Estrasburgo.

---

MENDEZ J.J. 2014. *Panfleto Materialista*. Pentalfa Ediciones. Oviedo

MULTHAUF R.P. 1978. *EL LEGADO DE NEPTUNO, Historia de la sal común*. Fondo de Cultura Económica, Méjico.

NADAL J. 1975. *El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913*. p. 173 y Tabla 3, p. 174. Ariel. Barcelona

NIETO-GALAN A. 1996. Industria textil e historia de la tecnología: las indianas europeas de la primera mitad del siglo XIX. Num. 9 de la *Revista de Historia Industrial*. Universidad de Barcelona

NIETO-GALAN A. 2000. From the Workshop into Print. Berthollet, Bancroft and Textbooks on the Art of Dyeing in the Late Eighteenth Century. pp 275-304 de *COMMUNICATING CHEMISTRY. Textbooks and their audiences 1789-1939*. Science History Publications. Canton, MA.

NIETO-GALAN A. 2001. *Colouring Textiles. A History of Natural Dyestuffs in Industrial Europe*. Boston Studies in the Philosophy of Science. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

NOLLET J.A. 1746. *Essai sur l'électricité des Corps*. Paris. [ETH-Bibliothek, Zürich. Enlace: http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-4573](http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-4573)

NOLLET J.A. 1765. *Leçons de physique expérimentale. Tomo 6*. Paris. [ETH-Bibliothek, Zürich. Enlace: http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-9064](http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-9064)

OTTLEY W.C. 1826. *A Dictionary of Chemistry and Mineralogy*. John Murray, Londres. Digitalizado por Google:

PINCUS E. 2013.1688. *La primera revolución moderna*. Ed. Acantilado. Barcelona, 2013.

POLLARD A.M. 2015. *Letters from China: A History of the Origins of the Chemical Analysis of Ceramics*. Vol. 62. nº 1. AMBIX.

PONTING C. 1992. *Historia verde del mundo*. Ed. Paidós. Barcelona

POTASH RIDGE 2015. Blawn Mountain Project. Consultado el 15.8.15

<http://www.potashridge.com/blawn-mountain/alunite-ore/default.aspx>

POTT J.H. 1753. *Lithogéognosie, ou examen chymique des pierres et des terres en general*. Paris: Herissant. Traducción del original:

---

*Chymische Untersuchungen welche fürnehmlich von der Lithogeognosia oder Erkänntniss und Bearbeitung der gemeinen einfacheren Steine und Erden ingleichen von Feuer und Licht handeln* (Potsdamm: Voss, 1746).

QUARTERLY 1827. *The Quarterly Journal of Science, Literature and Art. January to June 1827*. Vol. 23 pag. 54. The Royal Institution of Great Britain. Londres

RAUCH E. 1962. *Geschichte der Hüttenaluminiumindustrie in der westlichen Welt*. Aluminium-Verlag. Düsseldorf

RODRIGUEZ MOURELO J. 1903. La piedra del alumbre. *Boletín Minero y Comercial. Revista Ilustrada*. Antonio Gascón. Madrid.

RUIZ MARTIN F. 2005. *Los alumbres españoles Un índice de la coyuntura económica europea en el siglo XVI*. Fundación Española de Historia Moderna. Ediciones Bornova. Guadalajara.

SANCHEZ PICON 2012. *Viento del Sur. La presión local en la liberalización minera de 1825*. <http://www.um.es/hisminas/> Historia de la minería española. Junio 2012. Universidad de Murcia.

SARTON G. 1950. Review of the Earliest Chemical Industry by Charles Singer. *Isis*. Vol. 41 N<sup>o</sup> 1. (Marzo 1950), pp. 128-131.

SAUSSURE N.T. 1804. *Recherches chimiques sur la vegetation*. Veuve NYON. Paris. Digitalizado por Google.

SAWYER D.L., TURNER T.L. 1985. *Pressure Leaching Alumina from Raw Kaolinitic Clay*. Report of Investigation 8978/1985. U.S. Bureau of Mines

SINGER C. 1948. *THE EARLIEST CHEMICAL INDUSTRY. An essay in the historical relations of Economics and Technology from the alum trade*. The Folio Society. London

SMITH, GRAHAM (2011-01-07) Daily Mail Online, *Man started wearing clothes 170,000 years ago, according to study of lice* <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1345109/Man-started-wearing-clothes-170-000-years-ago-according-study-LICE.html> visto 5.8.15

SCRIBNER C. 2008. *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 1st edition. Charles Scribner's Sons. Nueva York



SIMPSON B.L. 1997. *History of the metalcasting industry*. American Foundrymen's Society. Des Plaines IL.

STAHL G.E. 1726. *Fundamenta Chymiae*. Basilea.

STAHL G.E. *Philosophical principles of Universal Chemistry*. London 1730. pp. 87-88 Digital Google.

STRANDTH S. 1982. *Máquinas, una historia ilustrada*. H. Blume Ediciones. Madrid

STRUBE. I. y W. 1962. *Die Entdeckung des Unsichtbaren*. Der Kinderbuchverlag. Berlin

THOMSON T. 1803. *A System of Chemistry*. Edinburgh. Digitalizado por Googlebooks.

UTRILLA L. 2014. *Amable Liñán. En busca del fulgor del fuego*.

VELEZ, I. 2013. *Agua, Máquinas y Hombres en la España Preindustrial*. Editorial Pentalfa, Oviedo.

## Indice de Figuras

Fig. 1 ALUMINA HIDRATADA $\text{Al}(\text{OH})_3$ .....	11
Fig. 2 ALUMINA CALCINADA $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	12
Fig. 3 Paradigma de la Ciencia de los Materiales .....	19
Fig. 4 Materiales de la Prehistoria .....	23
Fig. 5 Plioceno en Laetoli, Tanzania. <i>Mauricio Antón</i> .....	24
Fig. 6 Macacos (macaca fuscata) en aguas termales de Nagano....	25
Fig. 7 Recreación de posible rito funerario. E. Carbonell .....	26
Fig. 8 Venus de Donis Veltonice.....	27
Fig. 9 Contexto histórico de la alúmina.....	30
Fig. 11 Concha de Murex Brandaris .....	33
Fig. 12 Sulfato de Potasa y Alúmina a partir de Alunita. ....	37
Fig. 13 Portada de FUNDAMENTA CHYMIAE .....	40
Fig. 14 El alumbre en FUNDAMENTA CHYMIAE .....	41
Fig. 15 Traité Élémentaire de Chimie de Lavoisier .....	43
Fig. 16 FUNDAMENTA CHYMIAE de Georg E. Stahl.....	44
Fig. 17 Historia de la Alquimia de Siro Arribas .....	50
Fig. 18 Categorías de Recursos de la Tierra .....	63
Fig. 19 Símbolos y fórmulas de J. Dalton en 1808.....	100
Fig. 20 Opuscules Chymiques de Marggraf – Paris 1762.....	105
Fig. 21 Los nombres de la alúmina en Europa .....	111
Fig. 22 Chemische Annalen de Crell Junio 1789.....	115
Fig. 23 <i>Electrochemical researches on alumina</i> . Humphry Davy ..	122