

EL UNIVERSALISMO CIENTÍFICO
DEL BARÓN IGNAZ VON BORN
Y LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
MINERA ENTRE HISPANOAMÉRICA
Y ALEMANIA A FINALES DEL SIGLO XVIII*

Bernd Hausberger
El Colegio de México

La minería de plata ocupó un lugar central en el desarrollo económico de Hispanoamérica. También los administradores del régimen reformista borbónico lo tenían bien claro. Influidos por la Ilustración y una creciente fe en las nuevas ciencias exactas, pensaban que mediante la modernización tecnológica podría aumentarse de forma sustancial el rendimiento de las minas americanas, tan necesario para la ambiciosa política de la corona española en esa época. La solución del problema se buscaba en los centros más avanzados de la minería europea, es decir, en primer lugar, en Sajonia, en las zonas mineras de Hungría (que hoy son parte de Eslovaquia), en Bohemia y en Suecia. Se planeó de esta

Fecha de recepción: 11 de junio de 2008

Fecha de aceptación: 9 de septiembre de 2008

* Agradezco a Carlos Sempat Assadourian sus críticas a una versión preliminar de este texto, a los dictaminadores anónimos de *Historia Mexicana* sus comentarios, a Omar Velasco Herrera su ayuda, sobre todo con la bibliografía, y a Isabel Galaor sus esfuerzos por convertir mi castellano en publicable.

forma en el último cuarto del siglo XVIII, bajo el auspicio del Estado, una transferencia tecnológica hacia América Latina, la que causó mucha atención en su época y ha sido muy estudiada posteriormente, y, sin embargo, dio resultados decepcionantes. La historiografía ha destacado de manera habitual, el componente modernizador de esta empresa y ha sostenido que las razones del fracaso pueden encontrarse en la mentalidad tradicional de los mineros americanos y en la desconfianza con que enfrentaron a los extranjeros. Últimamente se ha subrayado el fundamento hegemónico de las ideas de los reformadores ilustrados y de los peritos alemanes enviados a modernizar la minería americana, la que los hizo malentender la verdadera situación del ramo.¹ En este sentido, con algunos matices, se desarrolla también el presente texto. Pretende demostrar cómo un proyecto de modernización, sin duda bien intencionado, quedó en la nada porque los discursos o prejuicios políticos y científicos de los que partía incapacitaron a sus protagonistas para desarrollar su labor a partir de un diagnóstico realista de los problemas que pretendía resolver.

PANORAMA DE LA TECNOLOGÍA APLICADA
EN BENEFICIO DE LOS METALES ARGENTÍFEROS
EN LA HISPANOAMÉRICA COLONIAL

Desde que los españoles encontraron los primeros yacimientos de plata en los años cuarenta del siglo XVI, la dimensión

¹ He publicado tales ideas en un artículo perdido, ya en 1989, véase HAUSBERGER, "Abbau und Verhüttung". Mientras tanto sobre todo Tristan Platt, sin conocer mi pequeño trabajo, ha desarrollado esta argumentación de forma muy aguda y ampliamente documentada, véanse PLATT, "La alquimia" y "The Alchemy of Modernity".

de las grandes minas de Potosí, Zacatecas y Guanajuato superó todo lo que se conocía en Europa.² Al principio, el refinamiento de los minerales se efectuó tanto con métodos importados desde Europa como con tecnologías indígenas. Sobre todo en Potosí, por mucho tiempo el centro minero más rico de América, los indígenas lograron monopolizar el beneficio del mineral gracias a la eficacia de sus hornos ventilados por el viento (*guayras*, *huayras* o *wayras*). Las tecnologías europeas e incaicas indistintamente producían plata mediante la fundición con plomo, que el mineral ya contenía o se agregaba al horno. La fundición daba muy buenos resultados con los minerales de alta ley, pero se mostraba inadecuada para beneficiar las inmensas cantidades de mineral de ley mediana y baja. Así, a partir de 1554 en México, y a partir de 1572 en Potosí, se introdujo una nueva metodología, desarrollada en Pachuca por el andaluz Bartolomé de Medina: la amalgamación.³ Este procedimiento aprovechaba la cualidad del mercurio de amalgamarse con los metales preciosos. Para que funcionara de modo económico era necesario moler el mineral lo más fino posible. A esta harina se agregaba una porción de azogue en relación con la ley del mineral para que se combinara con la plata. Mediante un proceso de lavado que aprovechaba el peso relativamente alto de la amalgama, ésta se separaba de las materias arenosas. Después se calentaba la amalgama. El azogue se vaporizaba (al condensarse, podía recuperarse en

² Al respecto consúltese WEST, *The Mining Community*, pp. 17-20; BRADING, *Mineros y comerciantes*, p. 183, y HADLEY, *Minería y sociedad*, pp. 180-181.

³ Entre la extensa bibliografía sobre la introducción del beneficio por azogue véase CASTILLO MARTOS, *Minería y metalurgia*.

parte) y la plata quedaba limpia. La amalgamación constituía un procedimiento simple, pero requería amplias inversiones en la molienda y el lavado de los minerales beneficiados y dependía del suministro regular del mercurio, un insumo administrado por un monopolio real y bastante caro. Procedía de las minas de Huancavelica en Perú y de Almadén en España, además, en cantidades menores, de Idria, en la Eslovenia de hoy.

Había varias maneras de ejecutar la amalgamación, las que se pueden resumir en dos formas básicas: una fría y otra caliente. Para la primera, el mineral molido normalmente se amontonó en un patio abierto (método de patio), se mezcló con agua, azogue, sal y otros ingredientes y se esperó varios días, si no semanas, a que el mercurio se amalgamara con la plata. Éste era el método más utilizado.⁴ Había una variante empleada sobre todo en los Andes: ahí la amalgamación se realizaba en cajones que se ponían a fuego lento. La amalgamación caliente fue inventada, no muy lejos de Potosí, a principios del siglo XVII y descrita en un famoso libro titulado *Arte de los metales*, de Álvaro Alonso Barba. Se cocinaba el mineral molido con el azogue en grandes cazos de cobre (método de cazo). Este método abreviaba el beneficio a sólo un día, mas no tenía la misma eficacia para extraer la plata, y, además de otras desventajas, provocó elevados costos de combustible y de cobre, por el rápido desgaste de los cazos.⁵

Así, en resumen, a mediados del siglo XVIII, en la minería de plata hispanoamericana se usaban tres tecnologías. En

⁴ Descripciones más detalladas de las diferentes variantes de la amalgamación se encuentran en BARGALLÓ, *La amalgamación*.

⁵ GAMBOA, *Comentarios*, p. 44.

primer lugar, se aplicaba la amalgamación fría. En los centros mineros sudamericanos se empleaba de forma casi exclusiva y en la Nueva España fue el procedimiento más utilizado. Aquí, sin embargo, se seguía recurriendo al beneficio por fundición, sobre todo en los reales de minas del norte, y también se usó el método de cazo, aunque en menor grado y, según Tristan Platt, en una “versión deteriorada”.⁶

En cuanto a la extracción del mineral, muchas minas americanas se caracterizaban por la mala planificación de sus labores subterráneas. A raíz de ella y del dramático crecimiento de las minas, las vías de comunicación y de transporte subterráneo con el tiempo se prolongaron sobre manera y los problemas de ventilación y del desagüe se agravaron.⁷ En los inicios de una explotación, de esta forma, se ahorra dinero y se aseguraba un rápido reembolso de las inversiones, pero a largo plazo tal procedimiento llevaba a un considerable aumento de los costos de producción. Este proceder se debía a la falta de capital que caracterizaba la minería americana, por lo menos, hasta bien entrado el siglo XVIII, la que le hizo depender de créditos caros y retrasó inversiones a largo plazo. Aunque siguieron existiendo explotaciones muy primitivas y arcaicas hasta finales de la colonia (y en algunas partes, hasta hoy en día), muchas minas modernizaron sus estructuras en el transcurso del siglo XVIII.

⁶ PLATT, “La alquimia”, pp. 45 y 59 y HAUSBERGER, *Nueva España y sus metales preciosos*, pp. 54-56.

⁷ Véase Carta anónima, Guanajuato, 14 de mayo de 1789, en *Bergbaukunde*, 2 (1790), p. 435; compárense también HUMBOLDT, *Essai politique*, pp. 542-554; BURKART, *Aufenthalt und Reisen*, vol. 2, pp. 226-227 y 250-255; BAKWELL, *Minería y sociedad*, pp. 188-191, y BAKWELL, “Mining in Colonial Spanish America”, pp. 110-111.

En la segunda mitad de este siglo, los reformadores borbónicos dirigieron su mirada a la minería hispanoamericana, que en ese entonces, andaba bien, pero todos pensaban que debería andar mejor. En un contexto de acelerado desarrollo científico se llegó a la convicción de que los nuevos conocimientos sobre la naturaleza podían coadyuvar al avance de la producción. Al mismo tiempo, se tomaba como un hecho el atraso de la tecnología minera americana. Así, la mejora sólo podía llegar de la Europa moderna, si bien no tanto de España, sino de los centros del progreso. Éstos en el campo de la minería se encontraban, en este momento, en Europa central y en Escandinavia. De esta forma se estableció una relación entre Alemania e Hispanoamérica la que, sin embargo, tenía ya sus antecedentes.

LA RELACIÓN HISPANO-ALEMANA
EN EL CAMPO DE LA TECNOLOGÍA MINERA

La península Ibérica fue, desde tiempos antiguos, una de las más importantes zonas mineras europeas. A principios del siglo XVI, la situación tecnológica era, sin embargo, deplorable, y la renovación se iniciaría gracias a fuertes influencias exteriores.⁸ En Italia la ciencia renacentista había acumulado considerables conocimientos sobre los procesos metalúrgicos. Una de sus expresiones era el libro *De la pirotechnia* de Vannoccio Biringuccio, cuya primera edición salió en 1540. Pero el centro del desarrollo tecnológico minero desde el medievo tardío lo fue sobre todo Europa central.

⁸ BARGALLÓ, *La Minería y la metalurgia*, pp. 94-95 y SÁNCHEZ GÓMEZ, "La técnica en la producción", p. 39.

Nuevas artes mecánicas mejoraron sustancialmente el uso de energía tanto animal como hidráulica. Se encontraron nuevas soluciones para enfrentar las aguas subterráneas mediante socavones de desagüe y grandes artes mecánicas. Nuevos tipos de molinos facilitaron la molienda del mineral y, de esta forma, su beneficio. Esta pequeña revolución tecnológica fue documentada por el humanista sajón Georgius Agricola. Su obra monumental, *De re metallica*, apareció en 1556 en Basilea, adornada de muchas ilustraciones y se convirtió en algo como la Biblia de los mineros, muchas veces reeditada y traducida. La internacionalización de la ciencia minera era sorprendente. Agricola vivió por algún tiempo en Italia, Biringuccio conoció la minería alemana personalmente y en la tercera edición de su libro de 1558 citó a Agricola.⁹ Entre las innovaciones posteriores que procedieron de esa región hay que mencionar, sobre todo, la introducción del uso de la pólvora, que vino a facilitar enormemente el trabajo subterráneo. Al parecer empezó a usarse ocasionalmente en el norte de Italia a partir de 1574 y a partir de 1620 ya era de uso general en amplias partes de Europa central y regiones vecinas.¹⁰ Por estas fechas, sin embargo, la minería centroeuropea entró en un largo periodo de decadencia, para recuperarse sólo un siglo más tarde.

La influencia de Biringuccio y Agricola en la minería hispanoamericana está bien documentada. Peter Bakewell¹¹ encontró en Zacatecas un ejemplar de la primera edición

⁹ BIRINGUCCHIO, *Pirotechnia*, 9r., 48v. y PRESCHER, *Georgius Agricola*.

¹⁰ VERGANI, "Gli usi civili della polvere".

¹¹ BAKEWELL, *Minería y sociedad*, p. 187.

de *De re metallica*, con anotaciones al margen agregadas por un lector del siglo XVII. La difusión de los logros de Agricola y Beringuccio en el mundo hispano fue, además, muy promovida por una obra publicada, en 1569, en Madrid por Bernardo Pérez de Vargas, la que puede verse como una compilación de textos de los dos autores renombrados.¹² Con todo, hay que tomar en cuenta que el libro de Agricola salió a luz en 1556 y, por lo tanto, más de medio siglo después de la llegada de los españoles al Nuevo Mundo y una década después del descubrimiento de los grandes centros mineros americanos, como Potosí y Zacatecas. Inicialmente la transferencia de tecnología minera europea a América tiene que haberse desarrollado por otros canales, por ejemplo, a través de inmigrantes procedentes de diversas zonas mineras, españolas o europeas.¹³

Pronto aparecieron los primeros mineros alemanes en el escenario hispanoamericano. Cuando la casa comercial de los Welser, obtuvo por el emperador Carlos V en 1528 el derecho del colonizar las costas de Venezuela, contrató en ese mismo año en Joachimsthal (hoy Jáchymov) 22 mineros. En 1529 estos hombres se trasladaron a Santo Domingo, donde los Welser tenían una factoría. Fueron recibidos, sin embargo, por los españoles de la isla con poca simpatía y encontraron los yacimientos de oro exhaustos. A Venezuela nunca llegaron. Para 1534 habían muerto al menos once de ellos, siete regresaron a Alemania, y la suerte de los

¹² GAMBOA, *Comentarios*, pp. 355 y 394 y SÁNCHEZ GÓMEZ, “La técnica en la producción”, pp. 36 y 154.

¹³ SÁNCHEZ GÓMEZ, “La técnica en la producción”, pp. 67-70 y 123-124. En este texto el autor da unas largas listas de tales personas para el periodo 1492-1600.

cuatro restantes se desconoce.¹⁴ En 1537 los factores de los Fúcares en Sevilla adquirieron una mina de plata en Sultepec y enviaron peritos alemanes a México para su rehabilitación, los que pueden haber ejercido una función importante en la transferencia transatlántica de tecnología alemana. En 1542-1543, para terminar este recuento, se encontraba en Cuba Hans Tetzels con el encargo de habilitar las minas de cobre descubiertas en la isla. Su explotación, sin embargo, no se llevó a cabo.¹⁵

Ya en ese entonces el flujo de conocimientos no iba sólo de Europa a América, sino pronto también en sentido contrario, sobre todo en el campo del beneficio de los metales. En 1555, poco después de que se habían descubierto ricas vetas argentíferas en Guadalcanal, en Andalucía, el lugar se convirtió en un centro de experimentación para las técnicas basadas en la amalgamación importadas de América. Desde allí, Juan de Córdoba Canales, influyente personaje en la administración de las minas de España, en 1588, intentó en vano vender la amalgamación al emperador de Viena.¹⁶ Más tarde, el libro de Álvaro Alonso Barba causó gran impacto en Europa y experimentó múltiples reediciones y traducciones; sólo en alemán se dieron ocho ediciones entre 1676-1767.¹⁷ No obstante, la amalgamación no se arraigó en Europa, después de sus prometedores principios en España. Julio Sánchez Gómez lo justifica, entre otras cosas, por los

¹⁴ LUDWIG, "Auff ein Bergckwergk".

¹⁵ PIEPER, "Innovaciones tecnológicas", p. 357 y SÁNCHEZ GÓMEZ, "La técnica en la producción", pp. 72-96.

¹⁶ CASTILLO MARTOS, "Primeros beneficios", pp. 387-390 y SÁNCHEZ GÓMEZ, "La técnica en la producción", pp. 118-120.

¹⁷ LÓPEZ PIÑERA, *Ciencia y técnica*, p. 267.

problemas del suministro de mercurio, el que fue absorbido en su totalidad por las grandes minas americanas.¹⁸ Un nuevo tipo de horno (el horno busconil), que fue inventado en Huancavelica por el médico Lope de Saavedra Barba para la destilación del mercurio y que duplicaba la productividad del horno tradicional, tuvo mayor éxito. En 1646, Juan Alonso Bustamante lo introdujo en Almadén como invento suyo, por lo cual el agradecido rey lo convirtió en noble.¹⁹

En resumen, en la fase de la extracción de los minerales se adoptó la tecnología europea del siglo xvi y siguió después más o menos la pauta de su desarrollo. El uso de la pólvora, por ejemplo, al parecer se introdujo ya en 1631 en Huancavelica por un minero que se había valido de ella con anterioridad en el cerro Colquimay. Pero pronto se advirtió que las detonaciones amenazaban la estabilidad de la mina, cuyas estructuras habían quedado muy débiles a causa de la explotación desorganizada de las primeras décadas de su existencia. Así por lo pronto los explosivos parecía que iban a quedar en desuso. Pero para el último cuarto del siglo xvii, la pólvora se usaba comúnmente en todo el espacio andino y, algo más tarde, también en la Nueva España.²⁰ En el beneficio de los metales, por lo contrario, los americanos aportaban con la amalgamación la innovación tal vez más importante de la época. Se sabe aún poco sobre los mecanismos y las vías en que se estableció este intercambio tecnológico entre los continentes, aunque

¹⁸ SÁNCHEZ GÓMEZ, "La técnica en la producción", pp. 97-111 y 193-199.

¹⁹ LOHMANN VILLENA, *Las minas de Huancavelica*, pp. 315-336 y BROWN, "La recepción de la tecnología minera", p. 65.

²⁰ BAKEWELL, "La periodización de la producción", pp. 41-43 y LOHMANN VILLENA, *Las minas de Huancavelica*, p. 311.

el detallado estudio de Julio Sánchez Gómez ha arrojado mucha luz sobre el periodo hasta mediados del siglo XVII.²¹

LAS REFORMAS BORBÓNICAS

A principios del siglo XVIII, con la subida de los Borbones al trono en Madrid, empezó una época de reformas para el imperio español. En lo que tocaba a las colonias americanas, los objetivos principales fueron el reforzamiento del poder de la metrópoli y el incremento de los ingresos fiscales. Esta política fue impulsada por la conciencia del retraso de España, que había empezado a originarse, dentro y fuera del país, a partir de la decadencia de la hegemonía española en Europa en el siglo XVII. “Enfermas están de muerte América y España”, diagnosticó en 1743 el ministro José del Campillo y Cosío, y exigía un remedio inmediato.²² Al sentirse atrasada frente a las otras potencias europeas, se pretendió superar tal retraso mediante la copia de los factores de su éxito. En el campo de las ciencias, a partir de mediados del siglo XVIII se entablaron contactos con las instituciones científicas y académicas existentes en todas partes de Europa, se enviaron jóvenes españoles a estudiar al extranjero y se organizaron viajes de espionaje científico a varios países.²³

En estos esfuerzos de modernización, se ponía énfasis especial en la producción de metales preciosos. Hubo una serie de medidas para bajar los costos de producción que

²¹ Véase SÁNCHEZ GÓMEZ, “La técnica en la producción”.

²² CAMPILLO Y COSÍO, *Nuevo sistema de gobierno*, p. 15.

²³ HELGUERA QUIJADA, “Las misiones de espionaje”.

aquí no se pueden tratar con detalle. En 1776, los empresarios obtuvieron el privilegio de organizarse como gremio con un tribunal minero propio, en la Nueva España, y en 1785 en Perú, lo que significaba un considerable aumento de prestigios político y social.²⁴ Además se fomentó la creación de bancos de avío, financiados mediante un pequeño gravamen sobre la plata producida, que compraban la plata a los productores a precios garantizados y otorgaban créditos baratos.²⁵ En suma, se quería reducir el poder de los grandes comerciantes y del capital mercantil sobre la minería. De hecho, la producción de plata experimentó en la segunda mitad del siglo XVIII un fuerte aumento generalizado. En México, sin embargo, la producción había crecido constantemente ya desde finales del siglo XVII, descontando un corto periodo de recesión en los años sesenta. En el espacio andino la producción empezó a subir a mediados del siglo XVIII.²⁶ Por lo tanto, las reformas que se realizaron en su gran mayoría en la segunda mitad del siglo, parecen haber más bien apoyado un desarrollo favorable, pero no haberlo iniciado.

Las medidas para renovar tecnológicamente la minería americana se tomaron bastante tarde. En 1752, se planeó fundar un Gabinete de Historia Natural en Madrid, como uno de los primeros proyectos que se inspiraba en ejemplos europeos. Sus impulsores, Juan Antonio de Ulloa y el Marqués de la Ensenada, perseguían un claro objetivo utilitarista

²⁴ HOWE, *The Mining Guild* y MOLINA-MARTÍNEZ, *El Real Tribunal de Minería de Lima*.

²⁵ BUECHLER, "La compañía de azogueros"; FERNÁNDEZ ALONSO, "Minería peruana", y FLORES CLAIR, *El Banco de Avío Minero novohispano*.

²⁶ HAUSBERGER, *Nueva España y sus metales preciosos*, pp. 32-41.

y, por lo tanto, pusieron especial énfasis en la minería. Para la formación del Gabinete, se exigieron informes de los diferentes centros mineros americanos sobre su historia, su situación geológica y las tecnologías en uso, además de pruebas de los minerales que se explotaban en ellos. Este plan, sin embargo, quedó en los inicios (fue retomado con éxito, pero también con otro enfoque, en 1771).²⁷ Por esos años, se enviaron ocasionalmente funcionarios reales a América, como Juan Antonio de Ulloa como corregidor a Huancavelica con el encargo de reorganizar, también técnicamente, la producción minera.²⁸

Los modelos para las mejoras prácticas se buscaban sobre todo en el extranjero, cuya superioridad en este campo se reconocía ampliamente. A mediados del siglo XVIII, la administración de las minas de Almadén se encargó al alemán Henning Karl Köhler, quien se apoyaba en un equipo de técnicos sajones. En 1757 fue sustituido por Heinrich Christoph Storr, a quien siguieron, en 1783, Johann Martin Hoppensack y, en 1792, Johann Friedrich Meyer. En otros centros mineros españoles la situación era similar.²⁹ Expertos españoles, a su vez, visitaron los centros mineros de Suecia, Sajonia, Bohemia y Hungría. Además de las tecnologías que allí podían estudiar, se interesaron en los sistemas institucionales de formación profesional. En Estocolmo existía una escuela minera ya desde el siglo XVII; a partir de 1735, otra se ubicaba en Schemnitz, en Hungría (hoy Banská Štiavnica, en Eslovaquia), la que en 1770 obtendría

²⁷ GALAOR *et al.*, *Las minas hispanoamericanas*, pp. 13-45.

²⁸ MOLINA MARTÍNEZ, *Antonio de Ulloa*.

²⁹ SAIZ, "El peluquero de la Reina", pp. 23-24.

el rango de una academia minera (*Bergakademie*). Pero la más prestigiada internacionalmente fue la academia minera que se fundó en 1765 en Freiberg, Sajonia, donde pronto se inscribieron varios estudiantes españoles.³⁰ Estas instituciones se copiaron en toda Europa. En 1776, por iniciativa de un grupo de vascos ilustrados reunidos en la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, se ideó el Real Seminario de Minería en Vergara, que recibió su forma definitiva dos años más tarde. En 1777 se fundó la Real Academia de Minas en Almadén, cuyos primeros directores fueron los ya mencionados Heinrich Christoph Storr y Johann Martin Hoppensack. Para este desarrollo, fue sin duda importante que en el campo minero también Francia, el modelo principal para las ideas modernizadoras de España (y de toda Europa continental), buscara inspiraciones innovadoras en el centro y norte de Europa.³¹

Los representantes de la nueva generación de científicos españoles fueron los hermanos Fausto y Juan José de Elhúyar. Estudiaron, de 1773-1777, medicina en París y pronto gozaron de la fama de ser los más avanzados químicos de su país. En 1777, a Fausto se le otorgó una cátedra en el seminario de Vergara, a condición de que estudiara primero los más nuevos logros de la mineralogía, metalurgia y ciencias adyacentes. Así, en el verano de 1778 se trasladó con su hermano a Sajonia, en donde permanecerían hasta la primavera de 1781. En ese año emprendió un extenso viaje por los centros mineros de Hungría y de Austria, mientras su hermano se dirigió a

³⁰ PELAYO, "Las actividades mineras", p. 457 y BRIANTA, "Education and Training".

³¹ PELAYO, "Las actividades mineras", pp. 457-458 y FLORES CLAIR, *Minería, educación y sociedad*, pp. 42-45.

Escandinavia. A su regreso a España, los hermanos consiguieron aislar un nuevo metal: el wolframio, lo que les otorgaría una considerable fama internacional. En el verano de 1785, Fausto de Elhúyar renunció a su cátedra en Vergara, ansioso de oficios superiores. Su hermano, ya en 1783, había sido enviado como director de minas al Nuevo Reino de Granada.³²

En el campo del beneficio de los minerales, los reformadores españoles, en torno del poderoso ministro José de Gálvez, le apostaban inicialmente a la reinstalación de la fundición. La razón principal de esta preocupación radicaba en el alto precio del azogue.³³ Mejorada en el transcurso del tiempo, la fundición siguió siendo el método más usado en Europa. En Potosí fue el oidor de la Audiencia de Charcas, Jorge Escobedo y Alarcón, el que sondeó las posibilidades de introducir la fundición, para lo que exigió el envío de dos metalúrgicos de Sajonia u otra parte de Alemania, para que enseñaran este beneficio tal como se practicaba en Europa. En México, alrededor de 1785, José Garcés y Eguía propuso agregar al mineral una cantidad de tequesquite (un mineral alcalino compuesto principalmente por bicarbonato de sodio) para incrementar la eficiencia de la fundición (un método en uso ya en Chihuahua).³⁴ Al mismo tiempo, se enviaba a Juan José de Elhúyar al Nuevo Reino de Granada,

³² PÁEZ COURREAU, "Tecnología minera y metalúrgica", p. 29.

³³ Después de 1820, también los empresarios ingleses que con la independencia penetraron la minería latinoamericana trataron de aumentar el uso de la fundición en México por los mismos motivos, sin mayor éxito, véase RANDALL, *Real del Monte*, pp. 130-135.

³⁴ Su libro fue impreso hasta 1802; José Garcés y Eguía, *Nueva teoría y práctica del beneficio de los metales*, México, 1802; compárese LÓPEZ MIRAMONTES, *Las minas de Nueva España*, pp. 73 y 84.

para que realizara junto al famoso naturalista Juan Celestino Mutis los experimentos correspondientes para adaptar la fundición a las condiciones regionales.³⁵ Pero antes de que lograran un buen resultado, se difundió la noticia de que en Austria, en 1784, el barón Ignaz von Born, oriundo de Transilvania, había desarrollado un método considerablemente mejorado de la amalgamación. Aparte de una descripción científica del proceso, Born propuso algunas medidas para la preparación del mineral antes de ponerlo en contacto con el mercurio y presentó una nueva maquinaria diseñada para racionalizar la producción.³⁶ Las noticias de la invención de Born llegaron a José de Gálvez en abril de 1785 y llevaron a un cambio sustancial de los intentos estatales por reformar el beneficio de los metales.³⁷

EL MÉTODO DE BORN Y LOS ESFUERZOS PARA INSTALARLO EN AMÉRICA

En 1786, cuando en Madrid los responsables se enteraban de los primeros resultados prácticos del nuevo método, enviaron a Viena a Fausto de Elhúyar y a tres jóvenes que estaban estudiando en París, entre ellos Andrés del Río. Debían estudiar el método de Born y contratar a un grupo de expertos mineros para su introducción en los territorios españoles. Parece que Elhúyar y Born, quienes ya se cono-

³⁵ WHITAKER, "The Elhuyar Mining Mission", p. 578; PELAYO, "Las actividades mineras", pp. 463-471.

³⁶ HAMANN, "Ignaz von Born und seine Zeit", pp. 16-17; por su parte PLATT, "La alquimia", pp. 65-68, comenta el incierto uso de las ilustraciones de esta maquinaria por parte de los historiadores.

³⁷ WHITAKER, "The Elhuyar Mining Mission", pp. 578-579 y PLATT, "La alquimia", pp. 38-40.

cían de antaño, tenían que ver con la realización de estos planes. Pues al anunciarle Elhúyar su interés en un encargo de este tipo, Born notificó al embajador español en Viena que recibiría a Elhúyar con mucho gusto.³⁸ Cuando Born, en ese mismo año, publicó su libro *Über das Anquicken der gold- und silberhältigen Erze* [*Sobre la amalgamación de los minerales auríferos y argentíferos*], mencionó en el prólogo la llegada de Elhúyar.

Apenas arribados a Viena, Elhúyar fue informado de su nombramiento como director general de minería en México. Pero primero fue a Glashütte (hoy Sklené Teplice), cerca de Schemnitz, donde estudió el método de Born exhaustivamente. No era el único extranjero que visitaba la localidad para conocer el procedimiento, y como todos los otros quedó impresionado. Sin embargo, en el fondo, el método de Born no se distinguía del método de cazo de Álvaro Alonso Barba, punto al que regresaremos más adelante.³⁹ Se llevaron a cabo vivos debates científicos sobre la naturaleza de los procesos empleados y posibles mejoras del método. Elhúyar realizó una serie de experimentos de los que resultó una amplia

³⁸ WHITAKER, "The Elhuyar Mining Mission", p. 580 y PALACIOS REMONDO, *Epistolario*, p. 74.

³⁹ "El nuevo método de Born es, en cuanto al fondo, el que Barba descubrió en 1609 y describió en su libro tercero", escribió Elhúyar a su hermano, "pero bien podrás imaginarte cuánto más perfecto será con la aplicación de los conocimientos actuales. Y lo que más admiro en él es que en tan poco tiempo hayan llegado estas gentes a poner tanta perfección en todas las operaciones y máquinas, en que sin embargo, no deja aún de haber algunas cosas que pueden mejorarse; Fausto a Juan José de Elhúyar, Freiberg, 21 de abril de 1787, en PALACIOS REMONDO, *Epistolario*, pp. 96-97. Sobre el contexto europeo de esta empresa véase sobre todo TEICH, "Born's Amalgamation Process".

publicación sobre las bases químicas de la amalgamación, editada por Born y Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra, en 1789-1790, en Leipzig. Sin embargo, Born había esbozado también una máquina para la amalgamación fría en barriles giratorios, con la que no había logrado resultados satisfactorios. Entre los presentes en Glashütte se perfeccionaría esta idea. En 1790, finalmente, Christlieb Ehregott Gellert, Anton Ruprecht y Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier emplearon esta tecnología para fundar en Halsbrücke, cerca de Freiberg, la planta de amalgamación más grande de Europa, que funcionó hasta 1857. Las discusiones al respecto motivaron a Elhúyar a llevar a América no la amalgamación caliente de Born, sino la amalgamación fría en barriles.⁴⁰ Pero también este método era, en sus principios, prácticamente idéntico a una variante de la amalgamación desarrollada en Potosí a finales del siglo XVI.⁴¹

Elhúyar buscó a los miembros de su equipo de expertos sobre todo en Freiberg. A dos de ellos, Fürchtegott [= Timotheus] Leberecht, barón de Nordenflycht (con quien había estudiado en Freiberg)⁴² y Zacharias Helms los sacó del servicio polaco; a dos más, Johann Daniel Weber y Louis Lindner, los reclutó en Austria. En Freiberg contrató a 26 hombres, en su mayoría mineros experimentados (los que con sus frecuentes borracheras inquietaban a Elhúyar)⁴³

⁴⁰ PLATT, "La alquimia", pp. 41-42.

⁴¹ BARGALLÓ, *La minería y la metalurgia*, pp. 147 y 173 y SERRANO, "Intercambio tecnológico", pp. 423-424.

⁴² Fausto de Elhúyar al Marqués de Sonora, Dresde, 14 de febrero de 1787, en PALACIOS REMONDO, *Epistolario*, p. 91.

⁴³ Fausto de Elhúyar a Abraham Gottlob Werner, Cádiz, 2 de junio de 1788, en PALACIOS REMONDO, *Epistolario*, pp. 110-111.

y sólo unos cuantos montañistas con estudio. Firmaron un contrato de trabajo por diez años, en el que se establecían los salarios, pero también la libertad de religión, tema que preocupó mucho a los sajones, que en su mayoría eran protestantes. De hecho se dieron algunos cambios en la composición del grupo, porque en el último momento se retiraban algunos, entre otras cosas, asustados por los rumores de que se les sometería a un juicio en la Inquisición, una vez llegados a territorios españoles. Con estos hombres y su nueva esposa, Jeanette von Raab, con quien se había casado en Viena, el 16 de octubre de 1787, Elhúyar partió a España.⁴⁴ Allí el grupo se dividiría en cuatro cuadrillas de entre siete y ocho integrantes: la primera, bajo el mando de Fausto de Elhúyar y Fritz Fischer, se dirigiría a México; la segunda, con Emmanuel Dietrich como director, se fue al Nuevo Reino de Granada, donde se les subordinó a Juan José de Elhúyar; la tercera fue liderada por el Barón de Nordenflycht y Zacarías Helms e iría a Perú, y la cuarta fue destinada a Chile, con Daniel Weber a la cabeza.

La suerte que corrieron estos grupos fue bastante diferente. En el Nuevo Reino de Granada, Juan José de Elhúyar distribuyó a los mineros alemanes en diversas minas, para que en ellas aplicaran sus conocimientos prácticos. Al fallecer Emmanuel Dietrich en 1789, inmediatamente después de su llegada, Elhúyar hizo los experimentos con el nuevo método de amalgamación sólo apoyándose en las descripciones escritas que tenía. Pero no logró comprobar

⁴⁴ WHITAKER, "The Elhuyar Mining Mission"; GICKLHORN, *Die Bergexpedition*, p. 19.

sus ventajas. Murió en Bogotá en 1796.⁴⁵ El grupo de Daniel Weber llegó, a través de Buenos Aires, en 1790 a Potosí y parece que nunca continuó su viaje a Chile, donde se les esperaba con grandes esperanzas. Por lo menos, Weber se quedó en Bolivia, empezó a trabajar minas por propia cuenta⁴⁶ y falleció después de la independencia.⁴⁷ Fue en 1794 cuando llegó Georg Passler a Chile desde Perú, pero no consiguió introducir la amalgamación con barriles.⁴⁸

Al grupo destinado a Perú originalmente pertenecía también el criollo peruano Isidro María de Abarca, el que, sin embargo, fue detenido en Buenos Aires y regresado a España debido a una acusación de la Inquisición. Como experto en el método de Born y, sobre todo, por sus conocimientos del país y del idioma hubiera desempeñado la función de mediador entre los alemanes y los mineros americanos.⁴⁹ Su partida iba a tener consecuencias bastante desfavorables. Justamente la expedición de Nordenflycht puede considerarse como un fracaso rotundo, un ejemplo para demostrar las dificultades de un *clash of cultures* más que una lograda modernización por transferencia tecnológica. Ya en Potosí, donde fueron recibidos con grandes expectativas, los alemanes no tardaron en irritar los ánimos por su abierto desprecio hacia la minería local y sus prácticas. Nordenflycht ordenó construir una planta de amalgamación estilo europeo, la que fue financiada por el Banco de San Carlos, es decir, por los mineros mismos. Los

⁴⁵ PELAYO, "Las actividades mineras", pp. 469-470.

⁴⁶ BUECHLER, "Technical Aid to Upper Peru", pp. 74-77.

⁴⁷ Información personal del doctor Ernesto Quintana, Potosí.

⁴⁸ GREVE, *Historia de la amalgamación*, pp. 84-93.

⁴⁹ FISHER, *Silver Mines*, pp. 56-57.

experimentos realizados dieron resultados modestos y los pronósticos vanidosos de Nordenflycht no se cumplieron de ninguna forma.⁵⁰ Al partir Nordenflycht a Lima, Weber y dos asistentes continuaron los experimentos en Potosí, pero no lograron mucho más.

En Perú, los alemanes emprendieron varios proyectos de modernización de las minas de Huancavelica, de Chachirín y Chanca y de Hualgayoc. Todos estos proyectos se estancaron ya en sus principios, sin dar los resultados deseados.⁵¹ Nordenflycht, por lo tanto, lanzó la sospecha de que existía un complot para desacreditar su labor. Helms entró en melancolía, lo que fue certificado por tres médicos limeños, y obtuvo el permiso del virrey para regresar a Alemania en diciembre de 1792. Allí publicó un libro sobre sus experiencias americanas, ofreciendo en el epílogo su amplia colección de minerales peruanos a la venta.⁵² Más tarde parece que se dedicó, junto al ya mencionado Johann Martin Hoppensack, a la explotación de minas en España.⁵³ Nordenflycht mientras tanto hizo construir en Lima un laboratorio, para practicar la amalgamación en barriales. Los costos, que finalmente alcanzaron 35 000 pesos, los soportó el gremio minero, el que también tuvo que pagar los salarios de los expedicionarios, que hasta la partida

⁵⁰ Para una descripción detallada de la labor de los alemanes en Potosí, véase BUECHLER, "Technical Aid to Upper Peru"; también puede verse FISHER, "Tentativas de modernizar", pp. 334-336.

⁵¹ BROWN, "Recepción de la tecnología minera", pp. 82-89; Brown atribuye a Nordenflycht un juicio muy claro sobre los problemas de Huancavelica y no descarta la posibilidad de que la decadencia posterior de la mina se hubiera evitado al poner en práctica sus planes.

⁵² HELMS, *Tagebuch einer Reise durch Peru*.

⁵³ SAIZ, "El peluquero de la Reina", p. 24.

de Helms ascendían al monto de 18 000 pesos al año. El gremio observaba, por lo tanto, las actividades de Nordenflycht con nerviosismo, lo que éste interpretó como desconfianza y animadversión. Como en una serie de experimentos a finales de 1793 y principios de 1794 no pudo comprobarse la superioridad del nuevo método respecto a las tecnologías tradicionales, su fracaso fue completo. Así, el virrey ordenó el cierre del costoso laboratorio en mayo de 1794.⁵⁴

En estas circunstancias debe sorprender que los contratos del grupo se renovaran en 1798. En los años subsiguientes se empleó a los alemanes en una serie de encargos menores, hasta que su expedición se dio por terminada en 1810. A sus integrantes se les ofreció regresar a Alemania y cobrar allí una pensión o quedarse con medio salario. Para ese entonces se encontraban en Perú sólo Nordenflycht y Mothes, posiblemente además de dos sajones, Fleischer y Griesbach, cuya suerte no se conoce. Mothes quiso regresar, pero una vez llegado a Madrid cambió de idea, probablemente ante el impacto de las guerras napoleónicas. En 1813 obtuvo el permiso para volver a Perú. Murió, en 1816, en Panamá. También Nordenflycht, quien en 1797 había contraído matrimonio con Josefa Cortés y Azúa, miembro de una distinguida familia chilena, viajó a España, pero para quejarse sobre la reducción de su salario. Se le quiso ofrecer en recompensa el oficio de superintendente de la Casa de Moneda en Lima, sin embargo, murió en Madrid en enero de 1816.⁵⁵

⁵⁴ BUECHLER, "Technical Aid to Upper Peru", p. 76 y FISHER, "Tentativas de modernizar", pp. 337-338.

⁵⁵ CONTRERAS, "Los mineros y el sabio del rey", p. 142; FISHER, "Tentativas de modernizar", pp. 338-344; sobre la historia posterior de familia

Más éxito tuvo el grupo expedido a México. Fausto de Elhúyar supo relacionar mejor sus proyectos con el entorno americano que Nordenflycht en Perú.⁵⁶ Uno de sus encargos principales fue el establecimiento de un seminario minero, proyecto largamente discutido. En 1790 Elhúyar tenía un programa redactado y en 1792 el Colegio de Minería se inauguró como la primera institución de educación superior laica de la Nueva España, que enseñaría a sus alumnos materias como mineralogía, metalurgia, matemáticas y francés. La institución pronto gozó de gran prestigio, entre otras cosas por sus distinguidos maestros como Elhúyar mismo, Andrés del Río o Louis Lindner.⁵⁷ También Humboldt dio clases durante su estancia en México. A pesar de esto, el Colegio no cumplió con todas las expectativas puestas en él. Alejado de los centros mineros, no era fácil relacionar la enseñanza teórica con la minería práctica. Entre los estudiantes se encontraban hijos de las distinguidas familias de la ciudad de México, de los que sólo una pequeña parte pensaba aprovechar los conocimientos adquiridos en el sector minero.⁵⁸

La tarea central de la expedición minera fue, también en México, la introducción de la amalgamación alemana, la que tampoco se logró aquí. La corona había expedido 150 000 pesos para la misión. Los empresarios mineros novohispa-

de Nordenflycht en Perú y Chile, véase TORRES MARÍN, *Los de Nordenflycht*.

⁵⁶ Véanse sus conflictos con el Tribunal de Minería y los representantes del gremio minero sobre sus competencias en FLORES CLAIR, *Minería, educación y sociedad*, pp. 35-37, también PESET, *Ciencia y libertad*.

⁵⁷ ESCAMILLA GONZÁLEZ, "Luis Fernando Lindner".

⁵⁸ QUELLE, "Das 'Colegio de Minería' in Mexiko"; HOWE, *The Mining Guild*, pp. 320-345, y FLORES CLAIR, *Minería, educación y sociedad*.

nos los recibieron con gran interés, hasta con entusiasmo, y les posibilitaron la realización de experimentos en sus empresas. La voluntad de modernizarse sin duda no faltaba. Las circunstancias, por lo tanto, parecían bastante favorables, aunque los resultados fueron decepcionantes. El fin de la labor de Elhúyar en la Nueva España fue provocado por la independencia de México. Elhúyar prefirió regresar a España, donde publicó un lúcido libro sobre el papel económico de la minería mexicana y murió en 1833.⁵⁹ La mayoría de los alemanes ya se le habían adelantado o fenecido. En México se quedó Andrés del Río, el que fallecería en su nueva patria en 1849.

EL FRACASO DEL MÉTODO DE BORN EN AMÉRICA

Las razones por las que falló la transferencia de la amalgamación alemana a América fueron múltiples. Probablemente no se invirtió suficiente tiempo para adaptar el método a los tipos de minerales predominantes en los Andes y en México. La maquinaria que Born y sus colegas habían diseñado, y que tanta admiración había causado en Europa, fue demasiado complicada para las dimensiones de la producción americana. Humboldt, por ejemplo, se preguntaba de dónde podría sacarse la energía para remover en barriles las inmensas cantidades de mineral beneficiado en México.⁶⁰ Otro problema fue que los reformadores ilustrados, tanto españoles como alemanes (y luego ingleses), llevados por

⁵⁹ ELHÚYAR, *Memoria*; compárese con ASSADOURIAN, “La organización económica”; sobre su biblioteca, véase ESCAMILLA GONZÁLEZ, “Ilustración alemana”.

⁶⁰ HUMBOLDT, *Essai politique*, p. 572 y PALACIOS REMONDO, “Fausto y Juan José Deluyar”, pp. 359-360.

una ilimitada fe en el progreso científico, no se daban cuenta de que ninguna modernización técnica puede realizarse al margen de los contextos histórico, social y cultural.⁶¹ Las innovaciones que querían introducir a la fuerza, sin tomar en cuenta las complejas estructuras de trabajo, de crédito, de avío y de derecho que la minería hispanoamericana había desarrollado, se mostraban con frecuencia poco operativas. Cuando Mothes en Hualgayoc quiso desaguar las minas mediante un gran socavón, no prestó suficiente atención en armonizar este plan con los complicados derechos de propiedad de las minas y causó bastante inquietud.⁶² Los expertos europeos, finalmente, eran embajadores de un programa dictado por la corona y, además, bastante arrogantes.⁶³ Este espíritu colisionó, por un lado, con una élite criolla cada vez más consciente de su valor y, por el otro, con mineros que fundaban su labor en experiencias prácticas transmitidas sobre todo de forma oral, los que no aceptaron que sus actos fueran dictados por extranjeros armados con teorías científicas, y menos, cuando la minería tradicional no andaba nada mal. Sólo en Perú la producción experimentó un incremento de 250% entre 1777-1799, y en la Nueva España, dónde se partía de un nivel mucho más alto, el crecimiento igualmente fue considerable.⁶⁴ Por lo tanto, no se

⁶¹ Este punto fue muy detalladamente desarrollado por PLATT, "La alquimia".

⁶² CONTRERAS, "Los mineros y el sabio del rey", p. 135.

⁶³ BUECHLER, "Technical Aid to Upper Peru", p. 73 y CONTRERAS, "Los mineros y el sabio del rey", pp. 139-141.

⁶⁴ CONTRERAS, "Los mineros y el sabio del rey", p. 128; FISHER, "Tentativas de modernizar", p. 329, y HAUSBERGER, *Nueva España y sus metales preciosos*, p. 34.

presentaba ninguna urgencia para entregarse a los costosos e inseguros proyectos de los europeos.

Lo que no faltó fue la disposición de los empresarios de aceptar nuevas tecnologías. Las élites mineras hispanoamericanas no eran el grupo retrógrado y antimodernizador como a veces se ha sostenido para explicar el fracaso de los expertos alemanes.⁶⁵ En el siglo XVIII, para limitarse a esta época, entre los mineros y otros habitantes interesados en las colonias se daba una serie de iniciativas para modernizar la minería mediante la introducción de tecnología europea. La persuasión de que mediante mejores métodos se pudiera sacar más plata del mineral venía acompañando a la minería desde sus inicios y estimulaba permanentes experimentos. Muchos se inquietaban por la idea de que en otras partes del mundo ya se hubieran encontrado las soluciones a los problemas que enfrentaban. Un minero de Pachuca, en los años veinte del siglo XVIII, quiso importar una bomba Newcomen de Inglaterra, entonces la última novedad en el campo.⁶⁶ En 1754, el empresario potosino Pedro Prudencia Pérez, en un informe a la corona, relató sus esfuerzos para obtener la más moderna bibliografía metalúrgica europea por medio de un miembro de la expedición científica francesa llegada a Quito bajo la dirección de Charles Marie de la Condamine en 1735. Sin haber obtenido ningún éxito, aplaudía con entusiasmo cualquier iniciativa estatal para promover los avances de las nuevas ciencias

⁶⁵ HELMS, *Tagebuch einer Reise durch Peru*, p. 83 y *passim*, o GICKLHORN, *Die Bergexpedition*, *passim*.

⁶⁶ ASSADOURIAN, "La bomba de fuego" y TRABULSE, *Ciencia y tecnología*, pp. 152-157.

en el adelanto de la minería.⁶⁷ Poco después, en 1761, el criollo mexicano Francisco Javier de Gamboa publicó sus *Comentarios a las ordenanzas de minas*, en los que describía detalladamente las tecnologías aplicadas. En cuanto a la geometría subterránea, enumera una serie de libros escritos en alemán y en latín, cuyo conocimiento debía al jesuita Christian Rieger, profesor de Física y Matemáticas en el Colegio Teresiano en Viena y, a partir de 1760, en el Colegio Imperial en Madrid y cosmógrafo del Consejo de Indias.⁶⁸ Unos años más tarde, en México, José Antonio de Alzate y Ramírez⁶⁹ publicó varios artículos sobre asuntos mineros: en 1768, sobre una máquina de vapor para desaguar minas y, en 1772, sobre métodos para ventilar las galerías. Estos ejemplos deberían bastar para demostrar que en América la pretensión de modernizar las tecnologías mineras no faltaba. Tampoco faltaba la iniciativa para conocer las nuevas ciencias europeas,⁷⁰ aunque no era tan fácil mantenerse al tanto del desarrollo, como lo demuestran la desesperación de Pedro Prudencio Pérez y también el escrutinio de la biblioteca de Joaquín Velázquez de León, el antecesor de Fausto de Elhúyar como director del Tribunal de Minería, fallecido en 1786.⁷¹

⁶⁷ Informe de Pedro Prudencio Pérez, Potosí, 9 de marzo de 1754, en GALAORET *al.*, *Las minas hispanoamericanas*, pp. 74-77.

⁶⁸ GAMBOA, *Comentarios*, p. 247; sobre Rieger, véase SOMMERVOGEL, *Bibliothèque*, vol. 6, p. 1841.

⁶⁹ ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, vol. 1, pp. 31-35 y 97-104.

⁷⁰ “Schluter es bien conocido en Nueva España”, escribe Alzate y Ramírez, se refiere a la traducción francesa, de 1750-1753, de *Gründlicher Unterrichts von Hütte-Werken...* (Braunschweig, 1738) de Christoph Andreas Schlüter. Véase ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, vol. 1, p. 234.

⁷¹ ESCAMILLA GONZÁLEZ, “Ilustración alemana”, pp. 421-422.

También la necesidad de institucionalizar la formación de los mineros y de proporcionarles bases científicas se habían discutido en los centros mineros americanos desde hacía algún tiempo. En Potosí, el ya mencionado Pedro Prudencio Pérez exigió reformas en este sentido en 1754,⁷² y, en 1757, el corregidor Ventura de Santelices y Venero inició el proyecto de la que fue probablemente la primera, aunque fallida, escuela minera de la América española. En 1779 el ya mencionado Jorge Escobedo y Alarcón, recién llegado desde España, hizo otro intento, que tampoco prosperó, sobre todo por la falta de un financiamiento adecuado.⁷³ En 1761, en México, Francisco Javier de Gamboa tenía la formación profesional de los mineros como asunto privado. Mas, en 1774, los dos representantes del gremio minero, Juan Lucas de Lassaga y Joaquín Velázquez de León, también recomendaron la creación de una institución de enseñanza profesional, para la cual Lassaga elaboró amplios planes.⁷⁴

En estas circunstancias, parece justificado suponer que todos los problemas y reveses que enfrentaron las expediciones alemanas hubieran podido ser remediables, si su propuesta hubiera rendido frutos. Pero por lo menos en el sector del beneficio, desafortunadamente los propagandistas de las invenciones europeas tenían muy poco que ofrecer a los mineros americanos, como algunos de los miembros

⁷² Informe de Pedro Prudencio Pérez, Potosí, 9 de marzo de 1754, en GALAOR *et al.*, *Las minas hispanoamericanas*, p. 74.

⁷³ OVANDO-SANZ, *La Academia*, pp. 5-32 y GATO CASTAÑO, "La Academia de metalurgia". Sobre la labor de Escobedo en Potosí, véase también BUECHLER, "Technical Aid to Upper Peru", pp. 46-49.

⁷⁴ FLORES CLAIR, *Minería, educación y sociedad*, pp. 23-37.

de la expedición pronto empezaron a reconocer.⁷⁵ Elhúyar había viajado, poco después de su llegada a la Nueva España, a Guanajuato, en ese entonces el centro minero más rico del mundo. Pronto tuvo que darse cuenta de que las tecnologías americanas se habían subestimado fuertemente en Europa. Escribió, en una carta del 7 de enero de 1789, que la división de los minerales en diferentes clases, realizada para poder aplicarles el método adecuado, le parecía imperfecta. Pero los molinos o arrastres que se utilizaban trabajaban mejor que los del distrito de Schemnitz.⁷⁶ Parece sintomático que los editores de esta carta en Alemania, Friedrich Willhelm Heinrich von Trebra y el mismo Born, no quisieran aceptar este juicio tan fácilmente y señalaban, en una nota de pie de página, los elevados costos de la molienda guanajuatense, un argumento bastante rebuscado, si se toma en cuenta que prácticamente todas las innovaciones que propusieron para la minería americana implicaban un considerable aumento en costos, recompensado, en teoría, por mayor rendimiento, justamente la misma lógica a la que obedecía la molienda perfeccionada de los mexicanos. Elhúyar confesó que se había formado una opinión desacertada sobre el método de patio antes de haberlo conocido. Sus desperfectos tampoco se subestimaron. Anotó que la “duración y la pérdida de azogue son por el momento los mayores defectos”. Mas señaló que el método de patio se distinguía por ser barato y su eficiencia era sorprendentemente alta, como se lo comprobó la examinación de los residuos que dejó el proceso. Agregó

⁷⁵ Hay que anotar que otros no reconocieron nunca nada, en primer lugar el prófugo Helms, cuyo libro está plagado de antiamericanismos.

⁷⁶ Carta de Fausto de Elhúyar, Guanajuato, 7 de enero de 1789, en *Bergbaukunde*, 2 (1790), pp. 412-416.

que el análisis químico realizado tal vez no había sido el más exacto, pero le parecía suficiente “para poder creer que con este procedimiento no se pierde tanta plata como hemos creído”.⁷⁷ A un juicio similar llegaron también otros, como Friedrich Traugott Sonneschmid, el que escribió en 1790 a Alemania: “La minería en general, así como toda la maquinaria usada en extracción del mineral y en el beneficio merecen ser mejoradas, no obstante es todo mucho mejor de lo que en Alemania se imagina”.⁷⁸ Más tarde Sonneschmid escribiría todo un libro en favor de la amalgamación novohispana, “para hacer justicia à este sobresaliente método que la preocupación europea ha tratado con bastante desprecio”.⁷⁹ Hay que preguntarse por qué nadie se había tomado la molestia de hacer estas pruebas antes de que se pusieran en marcha las costosas expediciones alemanas.

A la subestimación de las tecnologías americanas se sumaba que las mejoras que los alemanes proponían en el beneficio de los minerales estaban ya probadas (y, en gran parte, reprobadas) en América con anterioridad. No eran suficientes para remplazar los métodos de beneficio en uso. Gracias a la disposición a permanentes experimentos de los empresarios y azogueros, el método de patio estaba muy bien adaptado a las respectivas condiciones locales y regionales.⁸⁰ El hecho de

⁷⁷ *Bergbaukunde*, 2 (1790), pp. 425-426.

⁷⁸ Sonneschmid al consejero de minas Gellert, Sombrerete, 12 de mayo de 1790, en *Bergmännisches Journal*, 3:2 (1790), p. 174. Sobre el trabajo de Sonneschmid en México, véase PÉREZ ROSALES, “Un alemán en Zacatecas”.

⁷⁹ SONNESCHMID, *Tratado de amalgamación*, p. IX.

⁸⁰ Sobre las innovaciones logradas en la ejecución de la amalgamación, véase SÁNCHEZ GÓMEZ, “La técnica en la producción”, pp. 133-150; también PÁEZ COURREAU, “Tecnología minera y metalúrgica”, p. 31.

que estos experimentos se realizaran por el método de ensayo y error y basados en un discurso científico premoderno no importaba en este contexto. Cada zona minera se hizo de su propia tradición tecnológica. La amalgamación americana se mantuvo como el método de beneficio más eficiente hasta finales del siglo XIX, continuando su propio derrotero de permanente reajuste.⁸¹ Sólo a finales del siglo XIX fue sustituida por una tecnología completamente nueva, la cianurización.

Born no era ajeno al malentendido del que partía todo el proyecto de transferir su método a América. No cabe duda de que, en teoría, conocía la materia de la que hablaba. Dijo haber probado en experimentos todos los métodos de amalgamación que se practicaban en América,⁸² y discute en su libro los autores españoles sobre el tema, como Francisco Javier de Gamboa o Álvaro Alonso Barba. Pero se esforzó especialmente en destacar sus fallos, llegando a veces a ridiculizar a los españoles y su “ciencia”. Con esta actitud castiga sobre todo a su contemporáneo Gamboa, mientras que con Alonso Barba es más benévolo.⁸³ Aunque Born suele argumentar de forma muy pormenorizada, en algunas partes de su libro sus juicios son muy generales. Es aquí donde construye algo que podría denominarse tecnología virtual, pues reunía todos los defectos de todas las existentes, desde la fundición hasta los métodos de patio y de cazo. Ésta le servía de contraste con su propio método, cuyas ventajas de esta forma resaltaban. En una carta al emperador José II, incluida en su libro, reiteró que su método era

⁸¹ PLATT, “La alquimia”.

⁸² BORN, *Über das Anquicken*, p. 84.

⁸³ BORN, *Über das Anquicken*, pp. 27, 44-49 y 66-67.

más rápido y más eficiente, que causaba sólo una reducida pérdida de azogue, que no necesitaban plomo y que requería menos combustibles, sin especificar con qué tecnología se comparaba en cada uno de estos aspectos. Cuando Born se explicaba más concretamente, se refería con preferencia a la fundición. Dedicó un capítulo completo a demostrar con todo detalle que su invento era mejor y más barato que la fundición,⁸⁴ mas esto lo sabía en la América española todo el mundo, que sólo superficialmente se había informado sobre la materia. Sobre el método de cazo escribe mucho, y positivamente, pero la aparente similitud con su método no la discute con profundidad.⁸⁵ Finalmente, en una sutil maniobra retórica, somete la cuestión a juicio del lector, para que “compare el procedimiento de los españoles con aquel que yo presentaré en el siguiente capítulo y después decida si mi método de amalgamación de hecho no es otra cosa que el proceso de amalgamación español”; y en una nota de pie de página emite una sentencia demoledora para todos aquellos que llegaran a un juicio afirmativo, pues alardea de que sin duda, ahora y una vez probado con éxito su método, los escépticos y envidiosos afirmaran que éste era idéntico al método español.⁸⁶

Tal vez Born argumentaba de esta manera porque pensaba, en primer lugar, en el empleo de su invento en Europa, como

⁸⁴ BORN, *Über das Anquicken*, pp. 179-190.

⁸⁵ BORN, *Über das Anquicken*, pp. 25-50. En esto coincidían muchos historiadores europeos, GICKLHORN, *Die Bergexpedition*, pp. 44-46 o TEICH, “Born's Amalgamation Process”, p. 308. Compárese, sin embargo, HUMBOLDT, *Essai politique*, p. 565, sobre el método de cazo: “c'est celui que M. de Born proposa en 1786”.

⁸⁶ BORN, *Über das Anquicken*, p. 84.

sustituto de la dominante fundición. Además, el trabajo de Born estaba inmerso en diferentes intereses económicos. Había invertido mucho tiempo en sus experimentos y contraído una considerable deuda. Para ganar dinero, era necesario venderse bien y hacerse la propaganda correspondiente. Hizo también varias intentonas con el emperador José II para que le concediera una patente. Pero no logró nada.⁸⁷ El emperador atendía a sus propios intereses, pues esperaba que con la extensión del uso de la amalgamación aumentaran las exportaciones de mercurio de Idria. Encargó a Born escribir su libro, como éste mismo señala. Pero después, como prototipo del déspota ilustrado, consideró que el barón transilvano, como servidor del Estado, estaba suficientemente renumerado con su salario regular.

IMPOSICIÓN HEGEMÓNICA Y LA FALTA DE DIÁLOGO

No obstante todo lo dicho hasta aquí, podría sorprender el desfavorable desenlace de las expediciones mineras alemanas, pues había suficientes conocimientos para haberlo podido anticipar. El mismo Fausto de Elhúyar había escrito en 1786, desde Viena, que el método caliente de Born era muy similar al método de Alonso Barba y que había que tomar en cuenta que éste, probablemente, no sin razón, nunca había tenido éxito en América.⁸⁸ Tal vez Elhúyar optó finalmente por la variante fría del método que estaban desarrollando en Glashütte. La obra de Born no era, además, de ninguna

⁸⁷ GICKLHORN, *Die Bergexpedition*, pp. 36-43 y HAMANN, "Ignaz von Born und seine Zeit", pp. 16-17.

⁸⁸ WHITAKER, "The Elhuyar Mining Mission", p. 583.

manera desconocida en Hispanoamérica y, es más, el interés y las dudas sobre su calidad se expresaron desde antes de que llegaran los peritos europeos. En Nueva Granada, Juan Celestino Mutis se había enterado del método de Born por la *Gaceta de Madrid*. La forma en que fue elogiado le pareció desde el principio sospechosa. Por lo tanto, se puso en contacto con el cónsul sueco en Cádiz, Johan Jacob Gahn. Éste supuso que Born actuaba bajo la influencia del emperador, cuyas ambiciones de aumentar las ventas de azogue de Idria no podían ocultarse. El sueco consideraba, por lo tanto, justificado mantener la cautela.⁸⁹ En 1787, el arzobispo del Nuevo Reino de Granada se expresó con bastante ironía sobre los intentos de reintroducir con tanta pompa el invento de Alonso Barba en América.⁹⁰ El 21 de marzo del mismo año, el ya mencionado Alzate y Ramírez notificó al público mexicano que el *Journal historique et politique* de Ginebra, había anunciado, el 7 de octubre de 1785, la aparición del libro de Born. Alzate estaba muy interesado en el ahorro de azogue que el método prometía, pero al mismo tiempo se preguntó: “¿...será éste el [método] que conocen aquí por beneficio de cazo, perfeccionado?”⁹¹ Unos meses más tarde publicó, en tres partes, una carta de lector apócrifa, en que atacó la supuesta superioridad de la minería alemana. El editor de este texto, Roberto Moreno, lo interpretó como elegante protesta contra el anunciado envío de Fausto de Elhúyar como director general de la minería mexicana y su grupo de peritos alemanes.⁹² El hecho de que

⁸⁹ PELAYO, “Las actividades mineras”, p. 464.

⁹⁰ PLATT, “La alquimia”, p. 41.

⁹¹ ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, pp. 31-35 y 164-166.

⁹² ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, pp. 224-241.

justamente un hombre ilustrado como Alzate se mostrara molesto de que la metrópoli europea se creyera en la posibilidad de modernizar la minería americana, sin consultar a los americanos, pone de manifiesto la poca sutileza con que toda la empresa se estaba planeando.⁹³ Pero nadie de los responsables del proyecto consideró necesario incluirlos en la planificación. De haberlo hecho, probablemente muchos problemas se hubieran evitado con facilidad.

Era tendencia general, con el avance de la Ilustración entre las élites intelectuales europeas, que la disposición al diálogo fuera de su grupo, autodefinido como moderno, cediera a la creciente pretensión modernizadora hegemónica. Esto puede ilustrarse con la creación del primer Gabinete de Historia Natural en Madrid en 1752. En aquel entonces, para conocer mejor las condiciones de la minería americana, se pidió información a los funcionarios regionales y a los mineros.⁹⁴ El valor de las relaciones reunidas, ya en 1753 el Conde de Revillagigedo, virrey de la Nueva España, las desacreditaba al señalarlas como textos mal escritos por gente inculta,⁹⁵ y parece que tal opinión poco a poco se hizo dominante. En 1776, cuando se quisieron enriquecer las colecciones del Gabinete de Historia Natural, refundado cinco años antes, se les volvió a exigir colaboración a los

⁹³ Véase ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, pp. 132-135 y 240-241 en donde también se critica la famosa denigración de los españoles de la *Encyclopédie* de Diderot y d'Alembert.

⁹⁴ Para las respuestas, véase LÓPEZ MIRAMONTES, *Las minas de Nueva España* y GALAOR *et al.*, *Las minas hispanoamericanas*.

⁹⁵ AGI, leg. 1549: El virrey conde de Revillagigedo al marqués de la Ensenada, México, 22 de septiembre de 1753, citado en GALAOR *et al.*, *Las minas hispanoamericanas*, pp. 45-46.

funcionarios en las colonias. Pero ahora sólo se les pidieron objetos. Las descripciones del mundo hechas en el habla de la gente común y corriente ya no satisfacían las exigencias de la expresión científica moderna y, por lo tanto, interesaban cada vez menos al mundo culto. La Europa ilustrada se había distanciado del mundo exterior (así como de sus propias clases populares) y el nuevo lenguaje científico era uno de los mecanismos para marcar la diferencia. Fue Sonneschmidt quien entendió que tal cientificismo del lenguaje, aunque marcara un avance en la teoría, podía obstaculizar la práctica. Así aclaraba en su libro:

El modo con que me explico en toda la obra, manifiesta claramente que mi principal fin es instruir á los prácticos, y aquellos sujetos que no tienen mayores luces de la química. Por este motivo procuro hacerles un discurso inteligible, y me aparto expresamente de la moderna química, cuyas voces nuevas hubieran exigido larguísimas explicaciones.⁹⁶

Con esta estrategia no se ganaba tanto a hombres eruditos como Alzate, sino a los azogueros, los hombres de la práctica. Sonneschmidt parece haber entendido que el provecho mayor de sus conocimientos teóricos europeos se podía encontrar en el diálogo precisamente con ellos.

Varios azogueros me han manifestado sus deseos de instruirse en el modo como operan en la operación del patio de azogue, y los ingredientes convencidos, que sola de esta manera podrán sacarse las consecuencias oportunas para procurar conseguir la mayor perfección de este método. Condoliéndose

⁹⁶ SONNESCHMID, *Tratado de amalgamación*, pp. 99-100, n. 1.

al mismo tiempo de la total falta de libros que tratan de este beneficio, y declarando por muy insuficientes todos los que tratan de esta manera.⁹⁷

Sonneschmidt, que había logrado valorar la minería americana positivamente, da a entender aquí que los azogueros habían entablado el diálogo con él, entre práctica y teoría, por iniciativa propia. Significativamente, en Potosí, el carácter de Nordenflycht se cerraba a cualquier comunicación fructífera, pero no acabó con el interés: los mineros intensificaron sus propios experimentos, para superar los resultados de los alemanes.⁹⁸ En 1871, el montañista francés Laur afirmó que la amalgamación practicada por los azogueros mexicanos ya no podía ser mejorada por experimentos científicos.⁹⁹ Ésta puede haber sido mera retórica, pero también puede ser que el desarrollo de esta tecnología se hubiera agotado definitivamente. El avance sólo vino con la cianurización, un procedimiento completamente nuevo. La hegemonía de la ciencia occidental finalmente no sólo se instituyó con imposición e intolerancia, sino también por los resultados materiales que alcanzó, desde la máquina de vapor hasta la

⁹⁷ SONNESCHMID, *Tratado de amalgamación*, p. x; el editor del libro, “J. M. F” [José Mariano de Fagoaga, miembro de una famosa dinastía minera novohispana] resalta aún más los logros que Sonneschmidt sacó del estudio directo del trabajo de los azogueros, al respecto véase SONNESCHMID, *Tratado de amalgamación*, p. vi.

⁹⁸ PLATT, “La alquimia”, pp. 72-73

⁹⁹ M. P. Laur, “De la métallurgie de l’argent au Mexique”, en *Annales des Mines*, 6a. ser. 20 (1871), pp. 106 y 182-188 según BRADING y CROSS, “Colonial Silver”, pp. 555-556. Compárese con HAUSERGER, “Abbau und Verhüttung”, pp. 40-42.

cianurización o la bomba atómica.¹⁰⁰ Como la fe absoluta en la ciencia hoy en día se ha perdido, puede criticarse este desarrollo, pero sin duda hombres como Born (pero ciertamente también como Alonso Barba) tuvieron papeles protagonistas en su avance, tan grandes o tan pequeños como un individuo puede tenerlos.

En toda esta problemática, el papel y la posición de las élites americanas, criollas o peninsulares, no son siempre claros. Las permanentes quejas de los empresarios americanos sobre sus problemas deben haber influido en la percepción negativa que se tenía de la industria en la corte en Madrid. Los empresarios empleaban esta actitud como estrategia para ganarse privilegios o al menos defenderse de aumentos fiscales. Pero aunque ofendidos por la reforma impuesta por la corona, probablemente su manera de ver el mundo no era tan diferente y, por lo tanto, creían que el modo que sus empleados practicaban para producir la plata era muy inferior a lo que se estaba realizando en Europa. Pero los trabajadores que realizaban el beneficio en la práctica, los azogueros como se llamaron en México, habían desarrollado una tecnología con la que las innovaciones europeas (aún) no podían competir. Al menos Sonneschmidt parece insinuar que era con ellos con los que había que llegar a un acuerdo y no con los líderes de la sociedad criolla en la ciudad de México.

IGNAZ VON BORN Y LA UTOPIA DE LA CIENCIA UNIVERSAL

Born y sus aficionados parecen típicos exponentes de su tiempo y portadores de una ciencia hegemónica. Justamente

¹⁰⁰ ROTHERMUND, "Globalgeschichte", p. 35

Born, sin embargo, era un personaje polifacético. Sólo para indicar su íntima relación con la minería, está el grave accidente que sufrió en 1770 en la visita de una mina en Transilvania. Ahogado en una nube de gases subterráneos, tardó quince horas para recuperar la conciencia y quedó con graves problemas de salud para el resto de su vida.¹⁰¹ De todas formas, sabía suficiente de minería para que hubiera podido prever o al menos entender el fracaso de su tecnología en América. Insistió en que era esencial adaptar cualquier tecnología de refinamiento a las condiciones locales, incluyendo la suya, diseñada en Hungría;¹⁰² sabiduría que al parecer Nordenflycht y sus colegas no tomaron en cuenta. A Born no le faltaba tampoco sensibilidad para reconocer la formidable perfección que podían alcanzar tecnologías tradicionales nacidas de la experiencia práctica. Lo demuestra el comentario sobre un método de beneficiar minerales de cobre usado en Tirol desde hacía dos siglos. Sus palabras bien pudieran servir para comentar también el fracaso de su método en América:

Es verdaderamente maravilloso, cómo en un tiempo, en que en cuanto a la teoría de la Química metalúrgica gobernaba la oscuridad, se haya logrado este proceso. Se puede, sin embargo, suponer qué buenos observadores los viejos deben haber sido, y con qué felicidad se dejaron guiar por la experiencia a prácticas cuyos principios no entendían. Tenían menos teoría que nosotros y aun así han elaborado con frecuencia buenos procesos de mani-

¹⁰¹ HAMANN, "Ignaz von Born und seine Zeit", p. 12. Como ejemplo de sus varias actividades, véase también DRACE-FRANCIS, "A Provincial Imperialist".

¹⁰² BORN, *Über das Anquicken*, pp. 179-190.

pulación, las que ahora sólo hemos explicado teóricamente y al máximo mejorado en algunos detalles. Los viejos tenían menos método y eran inventores. Nosotros somos ricos en sistemas [es decir teorías] y, con esto, los comentaristas de los viejos.¹⁰³

Born, por lo tanto, les concedía a los mineros europeos una creatividad práctica, la que no quiso reconocerles a los americanos. De esta forma, tomaba parte en el discurso que en el siglo XVIII consideraba el “Nuevo Mundo” como tierra donde degeneraba la naturaleza, desde las plantas y los animales hasta los hombres.¹⁰⁴ Los americanos habían descubierto la amalgamación, pero no habían podido perfeccionarla, y el descubrimiento le parecía a Born “más bien resultado de la casualidad que consecuencia de un experimento realizado en base de principios y consideraciones correctos”.¹⁰⁵ Su actitud encuadra, asimismo, con la narración dominante del progreso histórico que en España no tuvo lugar.¹⁰⁶ Born, ex alumno de los jesuitas, masón y radicalmente antieclesiástico, que había publicado de manera anónima, siendo uno de sus escritos más difundidos, un panfleto contra los monjes,¹⁰⁷ en especial, se expresa

¹⁰³ BORN, “Tyrolischer”, pp. 236-237.

¹⁰⁴ GERBI, *La disputa*.

¹⁰⁵ BORN, *Über das Anquicken*, p. 10.

¹⁰⁶ CAÑIZARES-ESGUERRA, “Iberian Science”, pp. 93-95, *passim*

¹⁰⁷ *Ioannis Physiophili Specimen monachologiae methodo linnaeana tabulis tribus...illustratum*, Augsburg, 1783. La edición alemana: *Neueste Naturgeschichte des Mönchthums, beschrieben im Geist der Linnäischen Sammlungen und mit drei Kupfertafeln erkläret, von P. Ignaz Loyola Kulturpeitscher, aus der ehemaligen Gesellschaft Jesu... In Österreich, auf Kosten der Exmönche*, München, 1783. Este librito, con apenas 50 páginas, tuvo una multitud de reimpressiones hasta mediados del siglo XIX; compárese KREIL, “Ignaz von Borns ‘Monachologie’”.

agresivo, al considerar en la introducción de su libro las razones por las cuales los españoles no habían llevado la amalgamación a una perfección mayor:

¿Cómo se podría imaginar la perfección de una cosa basada en conocimientos científicos en un país donde la minería y el beneficio de los metales se consideran una labor artesana y donde todos los trabajos están a cargo de los indígenas, los que llaman su desidia práctica y la transmiten del padre al hijo? ¿En un país, donde la única ciencia es la teología y dónde las cátedras son ocupadas por monjes ignorantes, los que conocen la Física, la Geometría, la Mecánica, la Química apenas por su nombre y, aunque enseñaran estos conocimientos tan sobrantes para la salvación de las almas, por su oficio tienen que estar más interesados en oscurecer la comprensión de sus alumnos y discípulos que ilustrarla? [...] En un país, por fin, donde no está permitido enseñar Física, Mecánica o Química, sin correr peligro [de] ser quemado como un hechicero, y adonde desde el descubrimiento de aquella parte del mundo hasta ahora no ha llegado ningún mineralogista, ningún verdadero perito de minas y ningún metalúrgico, si exceptuamos únicamente al señor d'Elhujar, el que ha sido enviado a la Nueva España¹⁰⁸ y de cuyos conocimientos las minas de esta región se pueden prometer las más diversas ventajas, siempre cuando a su empresa no se oponen prejuicios y la Inquisición eclesiástica.¹⁰⁹

Atrás de tales opiniones estaba la fe en la razón universal que se erigió en el siglo XVIII como una religión secularizada, que aspiraba a la salvación de la humanidad reunida

¹⁰⁸ Aquí Born pone una nota referente a los estudios de los hermanos Elhúyar en Alemania y Escandinavia.

¹⁰⁹ BORN, *Über das Anquicken*, pp. 11-13.

en una historia común. Mas los ilustrados introducían en su discurso diferencias cualitativas, determinadas por su grado de desarrollo, entre las culturas, inventando de esta forma la noción de “la simultaneidad de lo no simultáneo”. “El conocimiento que se adquiere de las Naciones rústicas incultas da reglas para comprender lo que se debe a la instrucción”, escribió Juan Antonio de Ulloa¹¹⁰ y la idea es la instrucción que había llevado su mundo a las alturas de su tiempo. Friedrich Schiller, en su famosa lectura sobre el provecho de estudiar la historia universal, de forma similar, compara las diferentes culturas alrededor de Europa con “niños de diferentes edades alrededor de un adulto”, los que “con su ejemplo le recuerdan lo que el mismo ha sido una vez y de dónde ha partido [...] ¡Pero qué vergonzosa y triste es la imagen que estos pueblos nos dan de nuestra infancia!”¹¹¹ En todo esto no siempre queda claro si estas diferencias se atribuían sólo a una falta de educación y se consideraban, por lo tanto, remediables o si expresaban deficiencias naturales debido al clima. La Ilustración parió también el racismo moderno.¹¹² Los ilustrados quisieron abarcar al mundo, sin contar con los conceptos para aceptarlo en su diversidad. Born representa este espíritu de forma ambivalente. Al mismo tiempo que satirizaba a los monjes,

¹¹⁰ ULLOA, *Noticias americanas*, Introducción.

¹¹¹ SCHILLER, “Was heißt”, p. 13-14; la traducción es mía. Cabe recordar que Schiller, en sus escritos históricos sobre la guerra de liberación de los Países Bajos y sobre la Guerra de Treinta Años, manifestaba un antiespañolismo virulento. Compárese: “...at the end of the day, he [Born] and his opponents all belonged to a single enlightened Zeitgeist, which perceived the Hispano-American miners as little more than children in need of instruction”. PLATT, “The Alchemy of Modernity”, p. 34.

¹¹² EZE, *Race*.

mantenía contactos sobre temas científicos con miembros del alto clero,¹¹³ y, de igual manera que condenó a la cultura española, le hacía mucho honor a Elhúyar. Así, al parecer, consideraba que la inferioridad hispánica era reparable mediante la ilustración.

Born y sus contemporáneos se lanzaron al mundo para hacerlo partícipe del progreso con un espíritu misionero,¹¹⁴ y no sólo para incrementar la erudición, sino también para que la aplicación práctica de las ciencias mejorara las condiciones sociales y económicas. Siempre se había interesado por la divulgación de los nuevos conocimientos. Colaboró en la fundación de varias revistas científicas, sobre todo en Bohemia.¹¹⁵ Además, fue promotor de la internacionalización de la ciencia. En su libro sobre la amalgamación se identifica como miembro de las Academias de las Ciencias de Viena¹¹⁶ y Sanct Petersburgo, de Londres, Estocolmo, Upsala, Lund, Göttingen, Toulouse, Turín y Siena, así como de otras sociedades cultas. Esto no lo mencionó por vanidad, o no sólo por ella, sino para demostrar la gran comunidad científica internacional de la gente al servicio de la humanidad, pues creía en la universalidad del conocimiento alcanzado por la razón. También celebraba la franqueza con que se trataba su trabajo. Sus logros no se mantuvieron en secreto por intereses políticos. Cualquiera podía ir a Hungría para convencerse del funcionamiento práctico de su método.

¹¹³ HAMANN, "Ignaz von Born und seine Zeit", p. 14.

¹¹⁴ Sobre el concepto de la misión civilizatoria, véase BARTH y OSTERHAMMEL, *Zivilisierungsmissionen*.

¹¹⁵ HAMANN, "Ignaz von Born und seine Zeit", pp. 13-14 y 20.

¹¹⁶ Born fomentaba la fundación de la Academia de las Ciencias de Viena, pero correctamente aún no existía, sino hasta 1848.

El emperador había ordenado promover el conocimiento general de la amalgamación y permitir a todos los interesados el acceso a los establecimientos para su ejecución.¹¹⁷ Sin duda, el hecho de que José II quisiera aumentar la venta de mercurio fue el móvil de este permiso. El interés comercial favoreció la divulgación de la ciencia, lo que no era y no es ninguna contradicción.

Born aprovechó el éxito de su trabajo sobre la amalgamación para institucionalizar la comunicación que gracias a él se había iniciado. Fomentó que se reunieran expertos de todas partes para estudiar su forma de amalgamación, la discutieran y la siguieran perfeccionando. Estipuló, en el mismo 1786, la creación de una sociedad internacional de ciencias montanas (*Societät für Bergbaukunde*), la que pronto contó con 154 miembros de quince países, entre ellos hombres tan distinguidos como Antoine-Laurent de Lavoisier, el fundador de la química moderna, James Watt, el inventor de la máquina de vapor, o Johann Wolfgang von Goethe. Tenía un directorio de quince personas, un representante por país, los que en votación democrática elegirían un nuevo director a la muerte del existente. Se trataba posiblemente de la primera asociación científica internacional, sostenida por sus miembros y sin recibir apoyo de algún Estado, si bien la idea ciertamente se había inspirado en la masonería. En 1789 salió de la imprenta el primer volumen del anuario de la sociedad (*Bergbaukunde 1789-1790*). Pero la idea quedó en quimera. El anuario sólo iba a tener dos volúmenes y, con la muerte de Born en 1791, la sociedad dejó de funcionar al ser privada de su elemento

¹¹⁷ BORN, *Über das Anquicken*, Prólogo.

más activo. Los miembros dispersos no pudieron aportar el trabajo necesario para su existencia. La paga de la membresía funcionaba mal. Otro problema fue que la sociedad publicó su anuario en alemán, el que una buena parte de sus integrantes aportadores no podían leer, como señaló el francés Philippe-Frédéric, Barón de Dietrich.¹¹⁸ Además hay que tomar en cuenta la incidencia de la revolución francesa. Dos de los miembros franceses más destacados, Lavoisier y el mencionado Barón de Dietrich, morirían guillotinado en 1794 y 1793, respectivamente.¹¹⁹ Pero aún más grave fue, a largo plazo, que a raíz de las agudas guerras europeas de la época se impusieron los Estados nacionales como instancia predominante, por lo que las redes transnacionales y globales tendidas desde Europa a partir del siglo xvi perdieron protagonismo. El ideal universalista científico sucumbió a esta dinámica, la que iría ganando siempre más peso, al menos hasta mediados del siglo xx.¹²⁰

El objetivo de la *Societät für Bergbaukunde* era la colaboración internacional de los científicos ilustrados para el bien del mundo. Hasta ese momento la experiencia práctica y tal vez las ideas alquimistas habían sido la guía de la metalurgia y la minería. Ahora se trataba de conducir las por el camino del progreso mediante una ciencia moderna. Había que superar las reservas y fomentar la comunicación para que las diferentes experiencias e invenciones regionales revisadas y

¹¹⁸ Éste publicó en París, en los *Annales de Chimie*, 1 (1790), pp. 116-142, un largo informe sobre la fundación de la Sociedad; FETTWEIS, "Bergbau", p. 33; véase también PERRIN, "A Lost Identity", p. 549.

¹¹⁹ FETTWEIS, "Bergbau".

¹²⁰ SÖRLIN, "Ordering the World for Europe", p. 52 y BAYLY, "Archaic Globalization".

mejoradas con los conceptos modernos se fertilizaran entre sí.¹²¹ En este sentido, Born venía a ser un modelo ejemplar. Con todos sus prejuicios, aprendió español, un idioma nada estimado entre los intelectuales de su generación, estudió una tecnología americana, desarrolló a partir de ella sus propias ideas, delineó una tecnología práctica, ofreció sus resultados a una discusión internacional y se alegró de que a partir de ella se mejorara más, tanto que su libro de hecho resultó anacrónico apenas sacado a la venta. El verdadero mérito de Born fue haber logrado la transferencia de una tecnología americana a Europa.¹²² Born anunció en el prólogo de su libro que decepcionaría a todos los alquimistas que estaban esperando la obra anunciada ya por la prensa, porque su libro sólo contendría una lección basada en “sanos” principios químicos. Describió los métodos de amalgamación en el lenguaje científico correspondiente al desarrollo de las ciencias europeas de finales del siglo XVIII¹²³ y pudo divulgar su trabajo, publicado en un vistoso libro, a través de la incipiente red internacional de científicos, la *Cientific Community* que se estaba formando en Europa.¹²⁴ De esta

¹²¹ *Bergbaukunde* 1 (1790), pp. 1-4.

¹²² Véanse ROSSLER, “Geschichte der Amalgamation”; HOFER, “Ignaz von Born”, pp. 11-15, y TEICH, “Born's Amalgamation Process”, p. 311.

¹²³ TEICH, “Born's Amalgamation Process”, pp. 314-318. En 1802, Garcés y Eguía escribió que Born “supo separarse de aquella infección alquimista que alucinó a Barba”, citado según BARGALLÓ, *La minería y la metalurgia*, p. 173. Con esto repite el juicio de Born. Platt, sin embargo, ha señalado la cercanía de las ideas de Born a la alquimia. Véase PLATT, “La alquimia”, pp. 68-69.

¹²⁴ Sobre las condiciones históricas del desarrollo científico, véanse KUHN, *The Structure*; HULL, *Science as Process*, y ROTHERMUND, “Globalgeschichte”, pp. 33-35.

forma, otorgó a una tecnología originalmente americana suficiente seriedad para que fuera aceptada y discutida en los ámbitos ilustrados de la época. Más bien, su proceder adquiere rasgos de un intento impositivo de una hegemonía discursiva y no constituye un aporte a la emancipación de saberes del Nuevo Mundo. Inmediatamente los europeos, tanto los alemanes como los ilustrados españoles, se dieron a la tarea de transformar discursivamente este proceso. Se suprimía de la memoria el lugar de origen del conocimiento en cuestión y se proponía su exportación a América, con lo que quedó establecida la jerarquía entre los continentes, pero al mismo tiempo se condenaba al fracaso a toda la empresa. El gobierno español, antes de poner en marcha su proyecto de modernización, gastó tanto dinero y energía para conocer la minería practicada en el centro y norte de Europa, sin tomarse la molestia de examinar la minería americana, porque la superioridad de la tecnología europea se tomaba como indiscutible. En esta lógica, el gobierno español sólo a partir del libro de Born (y no por la eficiencia de la amalgamación americana, la que fácilmente hubiera podido averiguarse) abandonó su proyecto de introducir la fundición europea. Ahora le apostaba a una amalgamación europeizada por un barón ilustrado europeo para sustituir la amalgamación americana.¹²⁵

¹²⁵ PLATT, "The Alchemy of Modernity", p. 3; compárese: "[...] in the second half of the eighteenth century, we find that European scientists [...] claimed for themselves a monopoly of the truth, even when they were manifestly mistaken. For the sages of the Enlightenment, all other forms of knowledge had to be reinterpreted according to their own 'universal' principles, if each was to find its place within the conceptual and methodological edifice under construction. Until successfully absorbed into

En cuanto a la agenda de investigación, es imprescindible que la historiografía supere el discurso formado sobre el retraso tecnológico de la minería hispanoamericana.¹²⁶ Ciertamente, esto ya se ha hecho en buena parte. Por lo tanto, la tarea más urgente y también fascinante sería el análisis de las razones por las cuales la amalgamación no fue aceptada en Europa, sino hasta la aparición de la obra de Born, en vez de seguirse maravillando por el fracaso del método de Born en América. Esta pregunta la había formulado Alzate y Ramírez,¹²⁷ aun antes de la llegada de Elhúyar a México: “¿Por qué los alemanes no se han aprovechado [de la amalgamación] hasta [que de] un par de años a este tiempo [...] el consejero Born lo ha planteado?” Born mismo puso el dedo en la llaga y criticó ferozmente a los responsables de esta dilación. Discute extensamente el fracaso de Juan Canales de Córdoba en 1588 en la venta de la tecnología al emperador en Viena y lo atribuye a la falta de conocimientos teóricos del español, pero igualmente al orgullo y las cerradas mentes de los peritos en la corte; y no dejó pasar la ocasión para anotar, en una nota de pie de página, que los funcionarios públicos no tenían idea de la minería, señalando por su nombre a un consejero real en asuntos mineros en Prusia.¹²⁸ Born estaba consciente de que la vanidad y los prejuicios podían cegar. En este sentido era implacable con

Europe's 'New Science', therefore, other knowledge could not be considered truly 'scientific'. Nevertheless, in the case of silver-refining prior to 1786, this metropolitan drive to global intellectual hegemony had become almost a parody of itself". PLATT, "The Alchemy of Modernity", p. 2.

¹²⁶ ZEUSKE, "Technologietransfer", pp. 153 y 163.

¹²⁷ ALZATE Y RAMÍREZ, *Obras*, vol. 1, p. 235.

¹²⁸ BORN, *Über das Anquicken der*, pp. 13-16.

todos los “no simultáneos” a “la modernidad”, pasados o presentes, españoles o alemanes. Lo que no logró estimar fueron sus propias limitaciones, las de la modernidad que creía representar. Como exponente de la Ilustración, se esforzaba en ver el mundo de forma justa y objetiva. Pero sólo logró demostrar que también la objetividad y, aún más, la justicia, no existen fuera de su contexto cultural.

Fue otra vez Sonneschmidt, tal vez de una intelectualidad más simple, quien hace un sutil comentario sobre la actitud de Born, sin mencionar su nombre:

Ha habido metalurgistas célebres en Europa que aseguran en sus obras el haber imitado con la más exacta proligidad, todos los métodos de beneficiar minerales de plata por azogue, introducidos en la América española, y que no han llegado á extraer la mitad de la plata que contenían los minerales destinados para los experimentos, y que sólo por el beneficio por cazo descrito por Barba, han extraído dos terceras partes de la ley de plata.¹²⁹ [...] Pero como quiera que hasta ahora no he sabido yo de ninguna obra que describa los beneficios por azoque [...] y con tanta claridad que pudiesen imitarlos [...] me parece que las aserciones arriba indicadas no pueden ser por ningún modo decisivas.¹³⁰

Born fustiga la falta de ciencia de los autores españoles, orientándose al mismo tiempo en sus escritos a realizar los experimentos con los que demostraba la mala práctica de la minería americana. Identifica la calidad de la descripción con la calidad del método, pues no daba cabida a otra realidad.

¹²⁹ Cita casi textual del libro de BORN, *Über das Anquicken der*, p. 84.

¹³⁰ SONNESCHMID, *Tratado de amalgamación*, pp. 155-156.

CONCLUSIÓN

Los alemanes que llegaron a América fueron, al fin y al cabo, víctimas de su propia visión del mundo y de la narración histórica, que los colocaba en la modernización y al mundo hispanoamericano en el retraso. Pero también fueron víctimas de las autoridades, tanto políticas como científicas, tanto en España como en Alemania, que los contrataron y enviaron a una empresa perdida de antemano. Era una dinámica que se repetiría regularmente en las relaciones entre América Latina y Europa o entre los centros y las periferias de “la modernidad”.¹³¹ La inmensa mayoría de las compañías británicas que invadieron la minería americana inmediatamente después de la independencia o el ilusionado emperador Maximiliano correrían la misma suerte.

El motivo de las expediciones mineras alemanas fue sin ninguna duda económico: se quería, mediante una reforma tecnológica, aumentar las ganancias. Mas los métodos con que quería realizarse este objetivo no correspondían a una lógica económica, sino a un prejuicio cultural. En vez de encargar a alguien hacer una prueba de la eficiencia de las tecnologías americanas, se organizó el traslado a América de un grupo de expertos contratados en Europa central, guiados por los científicos españoles más prestigiados. El resultado tenía que ser decepcionante. Como toda historia, también ésta tiene una moraleja: la economía, y con ella la historia económica, no es más racional que cualquier otro campo de la actividad humana, o que cualquier otra

¹³¹ Véase, para un enfoque más general, CHAMBERS y GILLESPIE, “Locality in the History”.

historia, sino que se inscribe en un entorno histórico que determina su progreso. Parte esencial de este contexto es el campo de los discursos, de los valores o —en el más amplio sentido de la palabra— de la cultura. En este sentido, el presente ensayo no quiso indagar si el método de Born era superior al método de patio (o al revés), sino demostrar los desajustes que se producían al intentar trasplantar una tecnología económicamente exitosa de un contexto al otro. Así como el método de patio no pudo arraigar en Europa (y tampoco en Japón),¹³² la amalgamación alemana no funcionó en América Latina. Lo trágico (o lo cómico) del episodio fue que los prejuicios culturales, es decir el desprecio del mundo hispanoamericano por un lado y la fe en el triunfo de la razón descubierta en el siglo XVIII, por el otro lado, impidieron a sus protagonistas europeos (con pocas excepciones como Sonneschmidt) entender la situación, haciéndoles incluso reimportar a Hispanoamérica una tecnología que allí habían conocido.

SIGLAS Y REFERENCIAS

AGI Archivo General de Indias, Sevilla, España.

ALZATE Y RAMÍREZ, José Antonio

Obras, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1980, vol. 1.

ASSADOURIAN, Carlos Sempat

“La organización económica espacial del sistema colonial”, en ASSADOURIAN, 1982, pp. 277-321.

¹³² SASAKI, “Modes”, pp. 18-21.

El sistema de la economía colonial. Mercado interno, regiones y espacio económico, Lima, Instituto de Estudios Peruanos, 1982.

“La bomba de fuego de Newcomen y otros artificios del desagüe: un intento de transferencia de tecnología inglesa a la minería novohispana, 1726-1731”, en *Historia Mexicana*, L:3(199) (2001), pp. 385-457.

BAKEWELL, Peter

Minería y sociedad en el México colonial, Zacatecas, 1546-1700, México, Fondo de Cultura Económica, 1976.

“La periodización de la producción minera en el norte de la Nueva España durante la época colonial”, en *Estudios de historia novohispana*, 19 (1991), pp. 31-43.

“Mining in Colonial Spanish America”, en BETHELL (coord.), 1984, pp. 105-151.

BARGALLÓ, Modesto

La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial, México, Fondo de Cultura Económica, 1955.

La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial, México, Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, 1969.

BARTH, Boris y Jürgen OSTERHAMMEL (eds.)

Zivilisierungsmissionen. Imperiale Weltverbesserung seit dem 18. Jahrhundert. Konstanz, UVK, Universitätsverlag Konstanz, 2005.

BAYLY, Christopher Alan

“Archaic Globalization to International Networks, circa 1600-2000”, en BENTLEY, BRIDENTHAL y YANG (eds.), 2005, pp. 14-29.

BENTLEY, Jerry H., Renate BRIDENTHAL y Anand A. YANG (eds.)

Interactions: Transregional Perspectives on World History, Honolulu, University of Hawaii Press, 2005.

BETHELL, Leslie (coord.)

The Cambridge History of Latin America, Cambridge, Cambridge University Press, 1984, vol. 2.

BIRINGUCCHIO, Vannoccio

Pirotechnia. Li diece libri della pirotechnia, nelli quali si tratta non solo la diversità delle minere, ma ancho quanto si ricerca alla pratica di esse: e di quanto s'appartiene all'arte della fusione ouer getta de metalli, e d'ogni altra cosa à questa so migliante, Veneta, Comanda Trino, 1558.

BORN, Ignaz Edler von

Über das Anquicken der gold- und silberhältigen Erze, Rohsteine, Schwarzkupfer und Hüttenspeise, Wien, Christian Friedrich Wappler, 1786.

“Tyrolischer Silber- und Kupferschmelzprozess”, en *Bergbaukunde*, 2 (1790), pp. 217-237.

BRADING, David A.

Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810), México, Fondo de Cultura Económica, 1975 (1a. ed. inglesa, 1971).

BRADING, David A. y Harry E. Cross

“Colonial Silver Mining: Mexico and Peru”, en *The Hispanic American Historical Review*, 52 (1972), pp. 545-579.

BRIANTA, Donata

“Education and Training in the Mining Industry, 1750-1860: European Models and the Italian Case”, en *Annals of Science*, 57:3 (2000), pp. 267-300.

BROWN, Kendall W.

“La recepción de la tecnología minera española en las minas de Huancavelica, siglo XVIII”, en CUETO (ed.), 1995, pp. 59-90.

BUECHLER, Rose Marie

“Technical Aid to Upper Peru: The Nordenflicht Expedition”, en *Journal of Latin American Studies*, 5:1 (1973), pp. 37-77.

“La compañía de azogueros y el banco de rescates de Potosí (1747-1779)”, en *Boletín del Instituto de Historia Argentina y Americana*, 16 (1980), pp. 67-116.

BURKART, Joseph

Aufenthalt und Reisen in Mexiko in den Jahren 1825 bis 1834. Bemerkungen über Land, Produkte, Leben und Sitten der Einwohner und Beobachtungen aus dem Gebiete der Mineralogie, Geogenesie, Bergbaukunde, Meteorologie, Geographie etc., Stuttgart, E. Schweizerbart's Verlagshandlung, 1836, 2 vols.

CAMPILLO Y COSÍO, José del

Nuevo sistema de gobierno económico para la América: con los males y daños que le causa el que hoy tiene, de los que participa copiosamente España; y remedios universales para que la primera tenga considerables ventajas, y la segunda mayores intereses, Madrid, Imprenta de Benito Cano, 1789 (escrito c. 1743).

CAÑIZARES-ESGUERRA, Jorge

“Iberian Science in the Renaissance: Ignored How Much Longer?”, en *Perspectives on Science*, 12:1 (2004), pp. 86-124.

CASTILLO MARTOS, Manuel (coord.)

Minería y metalurgia. Intercambio tecnológico y cultural entre América y Europa durante el periodo colonial español, Sevilla, Bogotá, Muñoz Moya y Montraveta, 1994.

“Primeros beneficios de la plata por amalgamación en la América colonial (1565-1600)”, en CASTILLO MARTOS (coord.), 1994, pp. 375-406.

CHAMBERS, David Wade y Richard GILLESPIE

“Locality in the History of Science. Colonial Science, Technology, and Indigenous Knowledge”, en MACLEOD (ed.), 2000, pp. 221-240.

CONTRERAS, Carlos

“Los mineros y el sabio del rey. Federico Mothes en Hualgayoc, 1794-1798”, en *Historias*, 28 (1992), pp. 127-146.

CUETO, Marcos (ed.)

Saberes andinos. Ciencia y tecnología en Bolivia, Ecuador y Perú, Lima, Instituto de Estudios Peruanos, 1995.

DRACE-FRANCIS, Alex

“A Provincial Imperialist and a Curious Account of Wallachia: Ignaz von Born”, en *European History Quarterly*, 36:1 (2006), pp. 61-89.

ELHÚYAR, Fausto de

“Theorie der Amalgamation”, en *Bergbaukunde*, 1 (1789-1790), pp. 238-265.

“Theorie der Amalgamation [cont.]”, en *Bergbaukunde*, 2 (1789-1790), pp. 200-296.

Memoria sobre el influjo de la minería en la agricultura, industria, población y civilización de la Nueva-España en sus diferentes épocas, México, Consejo de Recursos Naturales no Renovables, 1964 [1a. ed., Madrid, 1825].

ESCAMILLA GONZÁLEZ, Francisco Omar

“Luis Fernando Lindner (Schemnitz, ca. 1763-México, 1805): catedrático de química y metalurgia del Real Seminario de México”, en *Jahrbuch für Geschichte Lateinamerikas*, 41 (2004), pp. 167-197.

“Ilustración alemana y ciencia novohispana: la biblioteca de Fausto de Elhúyar”, en PIETSCHMANN, RAMOS MEDINA y TORALES (eds.), 2005, pp. 399-475.

EZE, Emmanuel Chukwudi

Race and the Enlightenment. A Reader, Londres, Blackwell, 1997.

FERNÁNDEZ ALONSO, Serrena

“Minería peruana y reformismo estatal: las ordenanzas del Real Banco de San Carlos de la Villa de Potosí”, en *Anuario de Estudios Americanos*, 47 (1990), pp. 259-277.

FETTWEIS, Günter B.

“Bergbau, Bergbauwissenschaften und die Societät der Bergbauskunde”, en FETTWEIS y HAMANN (eds.), 1989, pp. 25-44.

FETTWEIS, Günter B. y Günther HAMANN (eds.)

Über Ignaz von Born und die Societät der Bergbaukunde. Vorträge einer Gedenkveranstaltung zur 200. Wiederkehr des Gründungstages im September 1786 der ältesten internationalen wissenschaftlichen Gesellschaft, Viena, Österreichische Akademie der Wissenschaften, 1989.

FISHER, John

Silver Mines and Silver Miners in Colonial Peru, 1776-1824, Liverpool, Center of Latin-American Studies, 1977.

“Tentativas de modernizar la tecnología minera en el virreinato del Perú: la misión minera de Nordenflycht (1788-1810)”, en CASTILLO MARTOS (coord.), 1994, pp. 329-348.

FLORES CLAIR, Eduardo

El Banco de Avío Minero novohispano. Crédito, finanzas y deudores, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2001.

Minería, educación y sociedad. El Colegio de Minería, 1774-1821, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000.

GALAOR, Isabel *et al.* (ed.)

Las minas hispanoamericanas a mediados del siglo XVIII. Informes enviados al Real Gabinete de Historia Natural de Madrid, Frankfurt, Vervuert, Madrid, Iberoamericana, 1998.

GAMBOA, Francisco Javier de

Comentarios a las ordenanzas de minas, Madrid, Oficina de Joachin Ibarra, 1761.

GATO CASTAÑO, Purificación

“La Academia de metalurgia de Potosí, obra del ilustrado Jorge Escobedo, 1775-1785”, en CASTILLO MARTOS (coord.), 1994, pp. 175-199.

GERBI, Antonello

La disputa del Nuevo Mundo. Historia de una polémica, 1750-1900, México, Fondo de Cultura Económica, 1982.

GICKLHORN, Renée

Die Bergexpedition des Freiherrn von Nordenflycht und die deutschen Bergleute in Peru, Leipzig, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1963.

GRANDNER, Margarete, Dietmar ROTHEMUND y Wolfgang SCHWENTKER (eds.)

Globalisierung und Globalgeschichte, Viena, Mandelbaum, 2005.

GREVE, Ernesto

Historia de la amalgamación de la plata, Santiago, Imprenta Universitaria, 1943.

HADLEY, Philip L.

Minería y sociedad en el centro minero de Santa Eulalia, Chihuahua (1709-1750), México, Fondo de Cultura Económica, 1978.

HAMANN, Günther

“Ignaz von Born und seine Zeit”, en FETTWEIS y HAMANN (eds.), 1989, pp. 11-23.

HAUSBERGER, Bernd

“Abbau und Verhüttung von Silbererzen im kolonialen Mexiko. Von Theorie und Praxis industrieller Techniken und Technologien”, en *Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Geschichte der Naturwissenschaften*, 9 (1989), pp. 19-52.

La Nueva España y sus metales preciosos. La industria minera colonial a través de los ‘libros de cargo y data’ de la Real Hacienda, 1761-1767, Frankfurt a. M., Vervuert, 1997.

HELGUERA QUIJADA, Juan

“Las misiones de espionaje industrial en la época del Marqués de la Ensenada, y su contribución al conocimiento de la nuevas técnicas metalúrgicas y artilleras a mediados del siglo XVIII”, en *Actas del IV Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de la Técnica: Estudios sobre la Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 1988, vol. 2, pp. 671-695.

HELMS, Anton Zacharias

Tagebuch einer Reise durch Peru, durch Buenos=Ayres an dem großen Platafluss, über Potosi nach Lima, der Hauptstadt des Königreichs Peru, Dresden, Waltherische Buchhandlung, 1798.

HOFER, Paul

“Ignaz von Born. Leben-Leistung-Wirkung”, tesis de doctorado en historia, Viena, Universidad de Viena, 1955.

HOWE, Walter

The Mining Guild of New Spain and its Tribunal General, 1770-1821, Cambridge, Massachuset, Harvard University Press, 1949.

HULL, David

Science as Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science, Chicago, University of Chicago Press, 1988.

HUMBOLDT, Alexander von

Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne, París, F. Schoell, 1811, vol. 1.

KREIL, Herbert

“Ignaz von Borns ‘Monachologie’. Ein Beispiel für die ordensfeindliche josephinische Broschüre”, tesis de maestría en historia, Viena, Universidad de Viena, 1994.

KUHN, Thomas

The Structure of Scientific Revolutions, Chicago, University of Chicago Press, 1962.

LOHMANN VILLENA, Guillermo

Las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII, Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999 (1a. ed., Sevilla, 1949).

LÓPEZ MIRAMONTES, Álvaro (ed.)

Las minas de Nueva España en 1753, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1975.

LÓPEZ PIÑERA, José María

Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII, Barcelona, Labor, 1979.

LUDWIG, Jörg

“«... auff ein Bergckwergk in India zutzihenn.» Sächsisch-böhmische Bergleute in der Karibik”, en ZEUSKE, SCHRÖTER y LUDWIG (coords.), 1995, pp. 15-23.

MACLEOD, Roy (ed.)

Nature and Empire. Science and the Colonial Enterprise, Ithaca, Cornell University, 2000.

MOLINA-MARTÍNEZ, Miguel

El Real Tribunal de Minería de Lima (1785-1821), Sevilla, Diputación Provincial de Sevilla, 1986.

Antonio de Ulloa en Huancavelica, Granada, Universidad de Granada, 1995.

OVANDO-SANZ, Guillermo

La Academia de Minas de Potosí, 1757-1970, La Paz, s. e., 1975.

PÁEZ COURREAU, Orlando

“Tecnología minera y metalúrgica en la Nueva Granada, del siglo XVI al XIX” (presentado al Instituto Colombiano de Antropología e Historia, marzo de 2003), en http://www.icanh.gov.co/secciones/historia_colonial/download/orlando_paez_2002.pdf

PALACIOS REMONDO, Jesús

“Fausto y Juan José Deluyar en Europa y su reflejo en la minería novohispano”, en CASTILLO MARTOS (coord.), 1994, pp. 349-374.

PALACIOS REMONDO, Jesús (ed.)

Epistolario 1777-1821 de Juan José y Fausto Deluyar. En el 200 aniversario de la muerte de Juan José (20 septiembre 1796), prólogo de José Luis Gómez Urdóñez, introducción de Manuel Castillo Martos, Logroño, Gobierno de la Rioja, 1996.

PELAYO, Francisco

“Las actividades mineras de J. C. Mutis y Juan José Elhúyar en Nueva Granada”, en *Revista de Indias*, 50:89 (1990), pp. 455-471.

PÉREZ ROSALES, Laura

“Un alemán en Zacatecas: Sonnenschmid y las minas en Sombrerete”, en PIETSCHMANN, RAMOS MEDINA y TORALES (eds.), 2005, pp. 385-397.

PERRIN, C. E.

“A Lost Identity: Philippe Frederic, Baron de Dietrich (1748-1793)”, en *Isis*, 73:4 (1982), pp. 545-551.

PESET, José Luis

Ciencia y libertad. El papel del científico ante la independencia americana, Madrid, Consejo Superior de Investigación Científica, 1987.

PIEPER, Renate

“Innovaciones tecnológicas y problemas del medio ambiente en la minería novohispana (siglos XVI al XVIII)”, en *IX Congreso internacional de Historia de América*, AHILA, Actas (1992), pp. 353-368.

PIETSCHMANN, Horst, Manuel RAMOS MEDINA y María Cristina TORALES (eds.)

México y Alemania. Percepciones mutuas en impresos, siglos XVI-XVIII, México, Universidad Iberoamericana, 2005.

PLATT, Tristan

“La alquimia de la modernidad. Los fondos de cobre de Alonso Barba y la independencia de la metalurgia boliviana (1780-1880)”, en *Anuario. Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia* (1999), pp. 37-102.

“The Alchemy of Modernity. Alonso Barba's Copper Cauldrons and the Independence of Bolivian Metallurgy (1790-1890)”, en *Journal of Latin American Studies*, 32:1 (2000), pp. 1-54.

PRESCHER, Hans

Georgius Agricola. Persönlichkeit und Wirken für den Bergbau und das Hüttenwesen des 16. Jahrhunderts, Westheim, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1985.

QUELLE, Otto

“Das ‘Colegio de Minería’ in Mexiko unter deutschem Einfluß”, en: *Ibero-amerikanisches Archiv*, 11 (1937-1938), pp. 320-345.

RANDALL, Robert

Real del Monte. A British Mining Venture in Mexico, Austin, University of Texas, 1972.

ROSSLER, Carl Anton

“Geschichte der Amalgamation in Joachimsthal in Böhmen”, en *Bergbaukunde*, 2 (1790), pp. 122-199.

ROTHERMUND, Dietmar

“Globalgeschichte und Geschichte der Globalisierung”, en GRANDNER, ROTHEMUND y SCHWENTKER (eds.), 2005, pp. 12-35.

SAIZ, J. Patricio

“El peluquero de la Reina”, en http://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b14_saiz_gonzalez.pdf (30 de octubre de 2005).

SÁNCHEZ GÓMEZ, Julio *et al.* (eds.)

La savia del imperio. Tres estudios de economía colonial, Salamanca, Ediciones Universidad de Salamanca, 1997.

“La técnica en la producción de metales monetables en España y América”, en SÁNCHEZ GÓMEZ *et al.* (eds.), 1997, pp. 17-264.

SASAKI, Junnosuke

“Modes of Traditional Mining Techniques”, Tokyo, United Nations University, en http://d-arch.ide.go.jp/je_archive/pdf/workingpaper/je_unu24.pdf (1980).

SCHILLER, Friedrich

Was heißt und zu welchem Ende studiert man Universalgeschichte? Eine akademische Antrittsrede [1789], editado por Otto Dann, Stuttgart, Reclam, 2006.

SERRANO, Carlos

“Intercambio tecnológico en la amalgamación entre los centros mineros de América con sus homólogos europeos”, en CASTILLO MARTOS (coord.), 1994, pp. 407-436.

SOMMERVOGEL, Carlos, S. J.

Bibliothèque de la Compagnie de Jésus, Brüssel, París, Oscar Schepens, Alphonse Picard, 1895, vol. 6.

SONNESCHMID[t], Friedrich Traugott

Tratado de amalgamación de Nueva España, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1983 (ed. facsimilar de la 1a. ed. de París, 1825).

SÖRLIN, Sverker

“Ordering the World for Europe. Science as Intelligence and Information as Seen from the Northern Periphery”, en MACLEOD (ed.), 2000, pp. 51-69.

TEICH, Mikulas

“Born's Amalgamation Process and the International Metallurgic Gathering at Sklenko in 1786”, en *Annals of Science*, 32 (1981), pp. 311-357.

TORRES MARÍN, Manuel

Los de Nordenflycht: ensayo de genealogía descriptiva, Santiago de Chile, Andrés Bello, 1986.

TRABULSE, Elías

Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo, México, El Colegio de México, Fondo de Cultura Económica, 1994.

ULLOA, Antonio de

Noticias americanas: Entretenimientos físicos-históricos, sobre la América Meridional, y la Septentrional Oriental. Comparación general de los territorios, climas, y producciones en los

tres especies, vegetales, animales, y minerales: Con relación particular de las petrificaciones de cuerpos marinos de los indios naturales de aquellos países, sus costumbres, y usos: De las Antigüedades: Discurso sobre la lengua, y sobre el modo en que pasaron los primeros pobladores, Madrid, Imprenta de Don Francisco Manuel de Mena, 1772.

VERGANI, Raffaello

“Gli usi civili della polvere da sparo (secoli xv-xviii)”, en CAVACIOCCHI, S. (ed.): *Economia ed energia. Secc. XII-XVIII. Atti della XXXIV Settimana di studi dell'Istituto internazionale di Storia economica “F. Datini” (Prato, 15-19 aprile 2002)*. (En prensa.) <http://venus.unive.it/riccdst/sdv/saggi/testi/pdf/Vergani/20Polvere/20da/20sparo.pdf>

WEST, Robert C.

The Mining Community in Northern New Spain: The Parral Mining District, Berkeley, Los Angeles, University of California Press, 1949.

WHITAKER, Arthur P.

“The Elhuyar Mining Mission and the Enlightenment”, en *The Hispanic American Historical Review*, 31 (1951), pp. 558-583.

ZEUSKE, Michael

“Technologietransfer und »Bourbonische Reformen«: die sächsisch-deutschen Bergbauspezialisten in Spansich-Amerika”, en ZEUSKE, SCHRÖTER y LUDWIG (coord.), 1995, pp. 140-163.

ZEUSKE, Michael, Bernd SCHRÖTER y Jörg LUDWIG (coord.)

Sachsen und Lateinamerika. Begegnungen in vier Jahrhunderten, Frankfurt A. M., Vervuert, 1995.