

INTRODUCCION A LA METALURGIA GENERAL

LECTURA HECHA POR DON WASHINGTON LASTARRIA EN LA SESIÓN
GENERAL DEL 22 DE SEPTIEMBRE DE 1892.

Al desear leerlos la introducción á la metalurgia general, es con el deseo de manifestar la importancia que tiene el estudio de este ramo, tan eminentemente industrial y de tan vital interés para el adelanto material de un país, que como el nuestro tiene por base principal de su riqueza la minería y por consiguiente el conocimiento de la manera de producir los metales. Por otra parte, haciendo algunas reminiscencias del origen de esta industria procuraré manifestar el gran auxilio que prestó la metalurgia al desarrollo de la química, hasta convertirla en una ciencia experimental, de tal magnitud, que se puede decir que hoy día no hay una industria que no tenga que ver con ella, y así la metalurgia adelanta cada día más debido al auxilio que hoy le devuelve la química.

Se puede decir que los progresos que anualmente se verifican son considerables, al extremo de hacer grandes transformaciones en el mundo industrial haciendo adelantar las naciones á paso bastante rápido. Esto solo nos podría hacer ver la necesidad de dar más vuelo al estudio de la metalurgia, principalmente al observar nuestros propios progresos, debido á la introducción de adelantos en este arte industrial, adelantos que si bien han sido

escasos en número y tardíos en llegar, pero han realizado tales transformaciones que hacen palpar hasta la evidencia la necesidad de incrementar este ramo.

Por último y como disculpa para entrar en este género de lectura, deseo con ella también procurar introducir en nuestra institución la costumbre de que anualmente se haga una reseña de los adelantos en general que se efectuen en el país y que se relacionen con el arte del ingeniero: teniendo este balance anual ya habrá datos para discutir y no hablar como se hace hoy día, en el público, sin tener aun la menor noticia de lo que existe y de lo que se hace, fuera del mundo literario y político.

La palabra metalurgia deriva del griego y está compuesta de dos que significan *metal* y *trabajo*; esto implica un significado muy extenso, pues abraza todas las artes que se ocupan de la transformación de los metales en objetos de utilidad y ornamentación; pero la aceptación usual es que: *La metalurgia es el arte que se ocupa de los procedimientos y métodos para producir los metales en grande escala y al grado de pureza necesaria para servir en las artes industriales.* De manera que es un estudio enteramente industrial, pero que se debe enseñar en la escuela principalmente en sus principios generales y su parte científica, sin olvidar, por cierto, de dar las instrucciones necesarias para conducir las operaciones técnicas, á la vez que se debe enseñar la química á altas temperaturas realizada sobre grandes masas, como asimismo el manejo de estas grandes masas y en lo posible, también, la rutina necesaria del obrero.

Para comprender mejor la enseñanza de la metalurgia en la escuela, conviene conocer, aunque brevemente su origen y el desarrollo que ha tenido en las investigaciones científicas desde la antigüedad y sobre todo, los adelantos de esta industria debidos á la enseñanza científica de ella y á la importancia de la aplicación industrial de los métodos científicos de los ramos en que se apoya la metalurgia.

El conocimiento de la metalurgia se remonta á los tiempos más primitivos, así es que 2,000 años antes de Jesucristo los chinos que estaban muy adelantados en algunos ramos de la metalurgia como ser la extracción y purificación del oro, la plata y el cobre, asimismo en la fabricación de aleaciones como el bronce y el latón. Así también otros pueblos antiguos como los Indios, los Egipcios, Fenicios y los Hebreos, conocían esta industria desde los tiempos más remotos, principalmente en la fabricación de útiles metálicos necesarios de aquellas épocas como ser para las necesidades de la guerra, de la vida doméstica, á el lujo y las del comercio; algunos metales como el cobre y el hierro para los dos primeros y el oro y la plata para los últimos. Naturalmente, una vez establecida la posibilidad de obtener los metales á su estado metálico, vino la necesidad de tenerlos en trozos cómodos y útiles para su manejo, de manera que hubieron de nacer las artes, industrias, etc., las que á medida que la civilización avanzaba hicieron que la producción de los metales ocupara un lugar culminante, descubriéndose en consecuencia procedimientos más ó menos adecuados para su producción y purificación.

De manera que es en estos procedimientos donde tiene su origen el arte industrial que hoy desempeña un elemento tan importante en la actividad humana, y su progreso desde los tiempos más remotos está íntimamente ligado á la prosperidad de los pueblos, constituyendo un verdadero indicador para conocer el grado del adelanto de ellos, puesto que sus intereses se desarrollan directa ó indirectamente según el grado de perfección de la metalurgia; principalmente en aquellos pueblos que como el nuestro, su principal riqueza está en sus productos mineros, los que siendo elaborados por procedimientos convenientemente elegidos y bien manejados podrán superar á los tiempos en que el país se enriqueció y progresó con la explotación en sus centros mineros, de aquellos minerales de leyes muy elevadas, á la vez que introducía procedimientos económicos por técnicos com-

petentes. Hoi día esto es más necesario, el auxilio de los técnicos y del capital, para poder dar verdadera vida á la industria minera con la cual se aumentaría en breve tiempo la riqueza pública haciendo grandes progresos para el país.

El desarrollo del arte metalúrgico se redujo en los primeros tiempos á almacenar una cantidad de hechos hasta que los metalurgistas más investigadores tomándolos por base obtuvieron como productos los primeros conocimientos científicos con los que promovieron en su tiempo el avance de la ciencia de la cual ha recibido, después, la metalurgia espléndidas indicaciones como retorno de sus primeras investigaciones.

La bibliografía metalúrgica antigua demuestra bien claro, que este arte en el cual existe tan estrecha y continuada la relación entre la teoría y la práctica es el que más ha hecho en provecho del enriquecimiento industrial á la vez que reveló la primera luz de los conocimientos químicos. Para cerciorarse de esto basta ver que de las antiguas descripciones de procedimientos metalúrgicos los primeros químicos dedujeron diversas hipótesis hasta que nació la química apoyándose en operaciones metalúrgicas para darle en seguida, con sus reglas fijas, nacimiento á la metalurgia actual que tanto adelanta cada día dejando su categoría de arte y encaminándose á ocupar un puesto en la verdadera ciencia.

La íntima relación que ha existido siempre entre la teoría y la práctica ha conducido al hombre cerca de la esencia de la verdad y con relación á la metalurgia se puede decir más propiamente esto, con referencia al empeño de los hombres prácticos en relación con los investigadores científicos; puesto que estos acumulan los antecedentes descubiertos por la experiencia, dentro de las grandes observaciones, axiomas y aforismos, entre tanto que aquellos tienden á mirar dentro de los experimentos calculando cómo obtener de ellos cosas de uso práctico é inmediato. Estas dos clases de obreros que han permanecido juntos y unidos por siglos son los que han realizado las ciencias modernas.

Al estudiar la historia de la metalurgia se ve que desde los tiempos más remotos, han despertado la observación y el estudio de los metalurgistas ciertos hechos que se relacionan con la oxidación y con la reducción, reacciones de las que dependen operaciones de especial importancia en la metalurgia. Uno de los hechos que más ha contribuído al progreso de la química es el estudio que se relaciona á la acción del oxígeno sobre el plomo, fenómeno observado desde los tiempos más antiguos y que ha sido de gran influencia para las ideas científicas actuales, de tal manera que Berzelius dice «que el oxígeno es el punto central alrededor del cual giran los químicos.»

Sabemos que fundiendo el plomo al aire libre se convierte su superficie en una sustancia fluida, que es una verdadera escoria y se puede separar del plomo fundido ó bien puede ser absorbida por las paredes del tiesto en que se opera si este es poroso como el hueso calcinado; de este fenómeno se valían los antiguos para separar los metales preciosos que contenía ó podían hacer contener al plomo y decían que el fuego consumía el plomo dejando libre la plata ó el oro. Sin embargo, estudiaban el fenómeno y trataban de explicárselo.

La primera descripción sobre la copelación hecha con toda claridad, es la que da el metalurgista árabe Djafar, conocido bajo el nombre de Geber, á fines del siglo ocho y dice que desde el siglo seis ya se apreciaba el hecho en la operación de la copelación y á su vez él mismo constata que hay un aumento de peso en la masa resultante de la calcinación, pues es mayor que el peso del plomo antes de calcinado, y en consecuencia emitió la hipótesis de que: «en el fuego de calcinación se le destruye, al plomo, una sustancia fugitiva é inflamable.»

En el siglo quince, también, Eck de Sulzbach trató este mismo punto y demostró experimentalmente que los metales aumentan de peso después de su calcinación; después, en el siglo diez y seis el metalurgista Biringuccio, contemporáneo de Para-

celcius y de Agrícola, sostuvo que el plomo era indispensable para extraer el oro y la plata de sus criaderos; y á su turno se les separa del plomo por simple calcinación, y constató, en esta operación, que el plomo aumentaba en un décimo de su peso, atribuyendo este aumento á las demás sustancias que lo acompañan las cuales se queman, fuera del oro ó la plata.

A mediados del siglo diez y siete los químicos de la época se preocuparon de las observaciones de los metalurgistas y el químico inglés Robert Boyle, que fué uno de los promotores más ardientes del método experimental, reconoció que la calcinación de los metales resultaba de los efluvios del aire que corroían á los metales y que el estudio de estos cuerpos resultantes darían algún día á conocer la composición del aire, pues este contenía algunos elementos uno de los cuales era una *sustancia vital* que interviene en la combustión y en la respiración. Al constatar Boyle el aumento de peso de los metales calcinados, cometió un error al decir que el aumento se debía á la fijación de moléculas del fuego que pasan á través de los poros de los aparatos en cantidad considerable para hacerse sensibles en la balanza.

En esa misma época Juan Rey, químico francés, escribía diciendo que el aumento de peso de los metales, en la calcinación, se debía á la fijación del aire ó á un *espíritu* que contenía el aire, pues siendo el aire un cuerpo pesado podía ceder al plomo sus moléculas pesadas. Poco después el químico inglés Juan Mayow decía en su obra publicada en Inglaterra, que el aire atmosférico parecía estar compuesto de dos gases ó espíritus diferentes; y uno de ellos era el que se necesitaba para la combustión y la vida; así es que una llama se estingue bajo una campana, no por la acción del hollin como pensaban los alquimistas, sino por la privación del espíritu especial del aire, que es el mismo que corroe los metales y da la vida á los animales. Todos estos hechos citados sobre el exígeno, fueron el origen de la gran revolución científica operada por el gran Lavoisier, y retardadas

hasta fines del siglo diez y ocho, debido en gran parte, á que en aquel mismo siglo diez y siete el metalurgista alemán Becher, de acuerdo con su discípulo Stahl, triunfaron con su teoría *flogística* que durante tan largo tiempo ha dado falsa interpretación sobre los fenómenos químicos. Así sostuvieron que el litargirio no es más que el plomo privado de su *flogística*, el que se perdía por una larga calcinación al aire, el que determina una vibración que hace desgregarse el flogístico.

Esta teoría que tantos años retardó el nacimiento de la química como ciencia, hizo desviar las sanas ideas que resultaban de las observaciones de Boyle, de Rey y de Mayow sin fijarse en que un metal como el plomo para transformarse en óxido de plomo, pierde alguna cosa como el flogístico, entre tanto que experimenta en su peso un aumento notable, en cuya observación el gran Lavoisier basó la combinación para destruir la teoría del flogístico, colocando á la química sobre base firme y segura demostrando la reacción química, y haciendo ver que el aumento de peso en el plomo cuando se calienta al aire, representa exactamente el peso del cuerpo gaseoso añadido que se combina como es el oxígeno. Con esto se explicó también con claridad la anticipada experiencia de Priestly, que en 1774 descompuso el litargirio por la chispa eléctrica. Por fin, Dalton habiendo desarrollado la teoría atónica y aplicándola á la química, Berzelio hizo memorable el plomo, eligiéndolo para la primera determinación del peso atómico.

Los experimentos de Deville sobre la disociación han manifestado la posibilidad de extender á los grupos de los átomos, en el sistema químico, las leyes que gobiernan la fusión y la evaporación de la masa de la materia, y esto ha producido una revolución comparable en importancia á aquella que siguió al descubrimiento de la ley de las proporciones definitivas para la disolución, lo que nos ha mostrado que las causas verdaderas de

los cambios químicos son variaciones de presión y de temperatura.

Así, por ejemplo, el oxígeno puede prepararse en escala industrial, obteniendo del aire con la intervención del óxido de bario calentado á la temperatura constante de 700° é introduciendo el aire con una presión de una y media atmósfera, entonces el oxígeno es absorbido y en seguida se desarrolla dejando el aparato parcialmente vacío; esto es evidente puesto que á cierta temperatura y presión cualesquiera variación de uno de los dos destruirá el equilibrio del sistema é inducirá á un cambio químico.

Como puede verse, la oxidación aplicada como procedimiento metalúrgico, desde los tiempos más primitivos ha dado margen á observaciones las que han tenido parte muy principal en el nacimiento de la química y sin la intervención de los alquimistas que no investigaban como los metalurgistas, que como Agrícola en su tratado descriptivo de los procedimientos usados en 1539 dice desdeñosamente que rechaza el dicho de los alquimistas, que los metales consistían de azufre, sal y mercurio, como asimismo la pretendida habilidad que se atribuían para cambiar la plata en oro por medio de la agregación de materias extrañas. El metalurgista Biringuccio en 1540 también los criticaba diciendo que él ignoraba el arte de los alquimistas, los cuales se mofaban de la naturaleza al decir que con sus drogas podían corregir los defectos de la naturaleza y podían hacer imperfectos los metales perfectos; concluye diciendo que «el arte de los alquimistas no es digno de la consideración del sabio anciano que lucha por obtener una cosa posible, la verdad,» y sienta en su obra el principio de la conservación de la materia sobre la cual la ciencia química está basada.

El desarrollo de la ciencia no sólo se apoyó en los procedimientos de oxidación, sino también en el otro gran procedimiento practicado por los metalurgistas desde los tiempos más remotos, aquel gran Paracelse fué el primero en darle el nom-

bre de «la reducción.» Con esto quedará sentado que las teorías químicas avanzaron más directamente por la observación hecha sobre los métodos para purificar los metales preciosos y por la importancia cuantitativa de los resultados, más que por la adquisición de hechos incidentales acumulados en la investigación para la transformación de un agente.

El carbón se ha conocido en todos los tiempos como el agente reductor más importante y como sucedía con los fenómenos observados en la oxidación así también se observan los de la reducción; en 1772, Lavoisier hacía el experimento de calentar el óxido de plomo mezclado con el carbón, pero en el primer momento no reconoció que el ácido carbónico anhidro era el gas que se producía, debido esto simplemente á que el volumen del gas puesto en libertad era el mismo como el del oxígeno que se hubiera puesto en libertad solamente; con todo, vió desde luego que ni el carbón ni el óxido de plomo, por sí mismo, daba nacimiento al desarrollo del ácido carbónico anhidro el cual resulta de la acción mutua del carbón con el constituyente del litargirio.

Con todo, las verdaderas reflexiones en el uso del carbón para la reducción de los metales pertenecen al presente siglo, á cuyo comienzo quedó sentado el hecho que, quemando los óxidos metálicos con el carbón se elimina el oxígeno produciéndose el metal, como lo pusieron en evidencia Fourcroy y Vanquelin. Después de 1820 es cuando la reducción ha sido propiamente estudiada y principió con los notables estudios de Le Play, quien demostró que la reducción es siempre efectuada por la intervención del óxido de carbón contrariando á Gay-Lussac, quien sostenía que «el carbón solamente á temperaturas muy moderadas, podía reducir ciertos óxidos metálicos sin la intervención del óxido de carbono ó cualquiera otro fluido elástico.»

En la metalurgia la reducción ocupa un lugar prominente y en la metalurgia del hierro tiene su principal papel y debido al

adelanto del estudio de la reducción ha podido progresar esta industria, principiando por aumentar la capacidad de los aparatos para producir la fundición del mineral de hierro. Así es que los hornos altos que en 1815 llegaban á 16 metros de altura y con una capacidad que apenas pasaba de 14 metros cúbicos, lo que se consideraba como un extremo con relación á los hornos altos de los siglos anteriores; llegó después, en este siglo, y debido á los estudios sobre la reducción, á la considerable y exagerada altura de 30 metros con capacidad de 198 metros cúbicos.

No hay duda que este desarrollo en los hornos altos se debe á la investigación sobre la reducción, estudio que se debe á gran número de observadores, de los cuales se pueden citar en primera línea á Tunner, Lowthian Bell y Gruner. Con todo, debemos recordar que aun hay alguna imperfección en los conocimientos exactos sobre el mecanismo de la reducción, al fijarnos en los experimentos de H. P. Baker que nos demuestran que el carbón puro no se puede quemar en oxígeno perfectamente puro y anhidro, de manera que el agente reductor, el óxido de carbono, no se puede producir de una manera satisfactoria á menos que la humedad ó vapor de agua esté presente.

El níquel no sólo se puede carburar por el óxido de carbono, sino también que á la temperatura 100° el óxido de carbono, anhidro puede separar el níquel y éste á su vez, si se eleva la temperatura hasta 150° se le puede eliminar su carbono como lo han demostrado Mond, Langer y Snincke y es en lo que están basados los últimos procedimientos de níquelado.

En los últimos años, Mond y Snincke y separadamente Bertelot han probado que el hierro y el óxido de carbono pueden coexistir, de lo que se puede deducir que en el horno alto, para la fundición de minerales de hierro, la acción del óxido de carbono desempeña un importante papel y parece que no hay duda que ayuda la carburación del hierro por cementación. Así se ha

demostrado que al reducirse el óxido de hierro el metal libre se carbura con facilidad y se puede concluir que el hierro puede, á una temperatura elevada, carburarse por el diamante en el vacío, esto es con la ausencia de toda otra cosa que indicios de cualesquier fluido elástico ó de otro tercer elemento. Así Osmond ha probado en 1891 que la acción entre el hierro y el carbón es mutua, por cuanto el carbono del diamante puro forma carburo de hierro transformándose en él á una temperatura de 1050°, temperatura á la cual el hierro ataca al diamante revisitiéndolo con una capa negra y perfectamente unida con él.

El nuevo procedimiento de Darby para la carburación directa del hierro por la filtración del metal fundido, á través del carbón promete ser de mucha importancia y como se ve lo que pasa en el convertidor de Bessemer, operación bien conocida ya, sabemos que el hierro es recarburizado sólo después de la reducción realizada por el aire comprimido en cuyo momento se conoce por medio del espectroscopio y es entonces cuando á través de él se le agrega el hierro espejado para formar el acero carburando de nuevo.

El óxido de carbono puede ser que sea más activo químicamente de lo que se ha impuesto, pues, Bertelot ha demostrado el último año, de 1891, que el gas perfectamente puro calentado á 500° ó á 550° produce ácido carbónico anhidro con depósito de carbón al calor rojo, no por disociación ordinaria pero sí que es por descomposición procediendo por la polimerización. También se ha mostrado que el óxido de carbono puede descomponer el nitrato de plata.

Todos los antecedentes que he expuesto tan á la ligera nos muestran suficientemente que desde los tiempos más antiguos se ha tratado de estudiar la teoría de los procedimientos y además nos muestran que los primeros progresos importantes realizados en la historia de las teorías de la química tienen su origen en los procedimientos metalúrgicos antiguos y no en los es-

tudios de los alquimistas ó adictos á la química, los cuales nunca tuvieron un fin bien determinado, salvo para la preparación de las medicinas ó bien para la perfección de los metales, como dice Boyle, pues creía que los metales eran compuestos de azufre, sal y mercurio; es verdad que la terapéutica también ha auxiliado bastante; pero la preparación de los materiales para ser empleados y el estudio de sus acciones son los que han aumentado verdaderamente las teorías de la química y estos han venido del estudio y observación de unos pocos procesos simples de la metalurgia.

Después las teorías químicas han avanzado más directamente por la observacion hecha en conexión con los métodos para purificar los metales preciosos ó por el reconocimiento de la importancia cuantitativa de los resultados más bien que por la adquisicion de hechos incidentales acumulados en la investigación para la transformación de un agente.

El ejemplo puesto sobre el plomo nos muestra, en el desarrollo gradual de las ideas científicas á las cuales este metal ha dado origen, que podemos encontrar las relaciones típicas que existen aun entre la teoría y la práctica.

La industria metalúrgica en cuanto á su manipulación es esencialmente práctica, pero debido al gran desarrollo á que ha alcanzado se hace necesario el estudio técnico que es el único medio para poder llegar á realizar el progreso de esta industria, ayudado, naturalmente, con los conocimientos prácticos; puesto que la experiencia ayudada por la ciencia son más dignos de confianza que la experiencia sola.

Existen sin embargo metalurgistas prácticos que suponen que las mejoras de sus procedimientos son debidos principalmente al resultado de su propia experiencia y observación, sin ninguna ayuda de la ciencia pura; aun existen otros prácticos que dirigiendo con algún acierto un establecimiento metalúrgico, no progresan absolutamente, debido á que por ningun motivo se aven-

turan á experimentar nada nuevo ni aun se atreven á pensar sobre las razones que puedan existir para la introducción de los inventos que se hacen. Esto se debe naturalmente á que su objeto principal está en no tomar nunca un camino que los pueda hacer dar un traspié por sus faltas de conocimientos técnicos con los cuales podrían guiar su práctica e introducir con acierto el adelanto conveniente al establecimiento que dirigen sin menoscabo, se entiende, de los gastos de instalaciones ó transformación metódica y razonada de la planta del establecimiento. De manera que estos hacen consistir su práctica puramente en tanteos más ó menos aproximativos, lo que propiamente constituye un buen operario.

Con todo, esta clase de prácticos es preferible á otros que llamándose tales y por manifestar conocimientos técnicos se atreven a poner en planta innovaciones, que no comprenden, y que solo las divisan por su forma externa y al plantearlas fracasan aumentando considerablemente los gastos de instalación con gran perjuicio de la industria que se ve obligada á servir mayores capitales.

El hombre verdaderamente práctico hoy día, debe ser aquel que posea ciertos conocimientos técnicos de un orden elevado y que por un estudio atento de ellos pueda utilizar la experiencia adquirida con su propia observación y comparar así las circunstancias y condiciones en que se encuentra, con las que antes tenía y entonces aplicar todo lo que la práctica así adquirida le haya hecho familiar. Estos conocimientos técnicos con verdadera base científica y no somera, son tanto más necesarios en la metalurgia que en cualesquiera otra industria, desde que los minerales son diversas combinaciones y mezclas metálicas naturales que pueden variar hasta el infinito y por otra parte hay que tomar en cuenta muy principal las condiciones locales y las necesidades comerciales, todo lo cual hace que sea imposible aplicar reglas constantes para aplicar en cada caso particular.

De manera que el estudio de la metalurgia en el día, para que produzca un verdadero resultado económico, necesita ser enseñada con la instrucción práctica en los métodos de conducir las operaciones técnicas, y muy principalmente enseñar también la química á altas temperaturas, á las cuales las reacciones ordinarias, con alguna frecuencia, son modificadas y aun transformadas y aun promoviendo muchos fenómenos de gran importancia que no se pueden sin embargo describir por la acción de los elementos fijados por las proporciones atómicas, o en las que la influencia directa de los átomos sea el único principio reconocido.

Es indispensable, por otra parte, conocer por el estudio: la composición de los minerales, de los fundentes ó flujos en general, la naturaleza de los combustibles, la forma y dimensiones que sean más convenientes para dar al aparato ú horno por usar en cada caso, las proporciones para hacer las mezclas, etc., etc., con el objeto de poder hacer con todo esto la comparación acertada de los diversos métodos por elegir en cada caso particular, todo lo cual se podrá realizar con facilidad si á estos estudios se agrega la experiencia acompañada de la observación constante.

Por lo que se ve resulta que un estudio semejante se adquirirá en los establecimientos mejor que en la escuela, donde por perfecta que se pueda hacer la enseñanza, no se podrá adquirir sino una práctica algo restringida; pero de todas maneras con vendrá hacer en la escuela el estudio técnico de la metalurgia para que sirvan de guía y metodicen la observación constante que se debe llevar en la práctica para llegar á ser metalurgista de experiencia.

Un hombre de escuela habituado á los métodos científicos, hay que tener en cuenta, que tendrá la inmensa ventaja de poder con cierta facilidad, amoldarse á las circunstancias y condiciones, por nuevas que sean para él, familiarizándose con ellas; además, con estos conocimientos combinados que adquiere, muy luego llegará á la habilidad técnica necesaria, obteniendo una

base sólida en su práctica, con lo cual el metalurgista consigue economizar los tanteos que de ordinario son mal concebidos y mal conducidos originando fuertes gastos que hacen la ruina de los establecimientos metalúrgicos y de la industria en general, que se ven obligados durante toda su vida á estar sirviendo los intereses de fuertes é indebidos capitales invertidos á pura pérdida por la falta de conocimientos y observación. De manera que el estudio de la metalurgia con los conocimientos fundamentales que nos da, sirve notablemente para evitar desaciertos, y en la generalidad de los casos, la ruina de la industria.

Debo observar que á la par de la necesidad del estudio científico, existe también la práctica experimental, la delicadeza de vista y el tacto especial que es personal y privado de todo razonamiento científico, que es de gran importancia. Para comprender esto bastará con acercarse a cualquiera establecimiento metalúrgico y al observar una operación, como, por ejemplo, la tuesta de una gran masa de mineral, ó bien la fundición ú otra operación cualesquiera que sea, se podrá apreciar en el acto el valor de esta clase de práctica tanto por la delicadeza de la vista como por el tacto especial indispensable para apreciar el momento oportuno y poder obtener el buen resultado de la operación.

Al principiar el estudio de un ramo tan directamente industrial como es la metalurgia, hay que tener siempre en vista las relaciones que existen entre los hombres científicos y los técnicos, pues los hombres de los detalles no pueden apreciar el valor y utilidad de las ideas ó de los principios generales y á su vez los hombres científicos cada vez más habituados á servirse de las leyes de la naturaleza para darse cuenta y para comprobar toda cosa, confían en ver que todo progreso resulta del desarrollo y del poder de sus métodos de investigaciones científicas, de manera que no ceden nada á las consideraciones empíricas ni á los expedientes que da la práctica en medio del estado de imperfección de nuestros conocimientos científicos,

consideraciones que son tan necesarias á los resultados de las operaciones industriales.

El estudio científico de la metalurgia se hace cada vez más necesario é importante por el aspecto que cada día toma la práctica de la metalurgia, se hace indispensable el estudiar las verdaderas relaciones de la teoría con la práctica para poder de esta manera apreciar debidamente las modificaciones importantes que hay que hacer al transportar un procedimiento que sea práctico en el laboratorio, al establecimiento industrial y asimismo para poder dirigir de una manera acertada la marcha de un establecimiento por compleja que sea ella.

En ningún caso se debe olvidar que la metalurgia es un arte manufacturero, de manera que demostrándose la realidad de una teoría solo se habrá avanzado una parte del problema; pero su realización completa será de ordinario muy difícil sin la ayuda de los conocimientos técnicos. Sin embargo, no está lejos la posibilidad de que los estudios de los técnicos lleguen hasta producir, para una serie de operaciones, ecuaciones que indiquen la perfección de su aplicación, para lo cual tienen ya resuelto algunos de los complicados problemas que se han introducido en la química metalúrgica aplicada á altas temperaturas y sobre grandes masas complejas, pues en realidad hay que atender no solamente á los átomos y moléculas sino también á la influencia ejercida por las grandes masas.

Al tener que manejar grandes masas de minerales, se hace evidente que, hay que tropezar con dificultades materiales que tanto la práctica no científica como las ciencias impracticables no pueden resolver, de manera que es necesario procurar combinar la inteligencia y tino de la práctica con el conocimiento de sus leyes naturales, con lo cual el hombre que consigue esto después de sus estudios de escuela tendrá una base sólida y digna de confianza en los trabajos complicados que hay que conducir. Debido á esta unión que sólo se obtiene en la escuela con

los estudios técnicos, es que se ha conseguido marchar con tanta rapidez en la industria metalúrgica en el presente siglo. De aquí ha resultado que la metalurgia es un *arte por cuanto reúne los preceptos y reglas necesarias para hacer bien las operaciones* y á la vez es una *ciencia por cuanto tiene el conocimiento de los hechos y de las cosas por sus causas y por sus principios*.

Vista la necesidad del estudio científico de la metalurgia, procuraremos aprender bien los métodos científicos y los principios metalúrgicos, ayudándonos en lo posible con hechos concretos y bien definidos, procurando tener en vista que la ciencia aplicada no es otra cosa que la aplicación de los principios á cada particularidad de los problemas y en tal caso consiste en una sucesión de deducciones de los principios generales que constituyen la ciencia pura y que están establecidos por el razonamiento y la observación; así es que para hacer con seguridad estas deducciones, se deberá apoyar sobre un conocimiento sólido de estos principios, conocimiento que no puede obtenerse sino por la experiencia personal de los métodos de observación y de raciocinio que se hayan observado ó tenido en vista.

Para extraer los metales de sus minerales al grado de pureza necesaria para el comercio, se necesita de métodos de beneficio: los que en el día existen en cantidad tan numerosa como variada, difiriendo entre sí en una cantidad de circunstancias que necesitamos conocer, para darnos, así, cuenta exacta de las operaciones que nos puedan asegurar un buen beneficio por más complejas que sean ellas. Este resultado sólo se podrá conseguir por medio del estudio minucioso de las reacciones químicas que se operan en los aparatos donde se trabaja y además de los aparatos y medios mecánicos necesarios para conducir las operaciones en la vasta escala que se necesita operar con el desarrollo actual de los conocimientos metalúrgicos.

Por otra parte, ya hemos visto la necesidad que existe, á la vez, de la práctica razonada de las operaciones. Con todos estos

requisitos se tendrán las condiciones necesarias para llegar á los resultados económicos indispensables que son el objetivo de los múltiples tratamientos dados á los minerales para obtener los metales.

Es indispensable para realizar con éxito este estudio, haber estudiado previamente, y muy bien, la química, la física y la mecánica, como estudios preparatorios indispensables para la metalurgia.

Los industriales que han comprendido la necesidad de dirigir su industria, conforme á los principios enunciados, y que tienen que ser hombres preparados en la escuela; han podido llegar á los grandes adelantos industriales del día.

Después del nacimiento de la química, á fines del siglo pasado, comenzó el adelanto rápido de la metalurgia, y á comienzos del presente siglo, ya se principian á ver las aplicaciones científicas y las deducciones que han conducido á los grandes procedimientos; principiando las modificaciones primeramente con el estudio y transformación de los aparatos metalúrgicos, en unión del estudio de los combustibles y principalmente de las temperaturas por desarrollar, hasta llegar á la regeneración del calor que no tiene más límite, para el grado de temperatura, que la disociación del ácido carbónico y del vapor de agua, no pasando la temperatura de 2600° c. y sólo se ha conseguido temperaturas superiores aplicando el gas oxhídrico y últimamente con la aplicación del arco voltaico con lo que se llega á obtener temperaturas de 7000° según Dewar, temperatura que no debe sorprender, pues según Rosetti la temperatura del sol está comprendida entre $10,000^{\circ}$ y $20,000^{\circ}$.

Los procedimientos nuevos y los adelantos en los antiguos, propiamente pertenecen á la segunda mitad del presente siglo; siendo de notar los adelantos que comienzan á hacerse en el estudio sobre la influencia de los diversos metales aliados en pequeñas dosis á los otros metales, que son los usuales; fuera de

esto, la química metalúrgica hace adelantar cada día á la industria en todos los detalles, pero sin confundir los mistos puramente analíticos del laboratorio con los procedimientos conducidos en grande escala y á altas temperaturas, en los cuales las reacciones no pueden ser precisas ni completas como en la química científica, puesto que ellas están limitadas de ordinario por la presencia de cuerpos que no se pueden eliminar directamente ni en el tiempo que convenga. De aquí nace que el instructor técnico debe enseñar hasta la rutina para habituar á la observación de la apariencia y vista con que deben conducirse las operaciones; así es que deben estar juntas la educación y la instrucción.

Los principales adelantos metalúrgicos están hechos sobre el hierro, así tenemos que en 1856 comienza el proceso Bessemer y poco después el de Siemens, tan conocidos en el día, pues han multiplicado la producción del hierro facilitando la fabricación del acero, y á la vez se ha conseguido disminuir el precio del acero, de \$ 275 á \$ 20 oro la tonelada; de manera que se ha efectuado una verdadera revolución en la industria del hierro y acero, el que ha aumentado su uso no solamente para transformar los ferro-carriles y los grandes puentes que se hacen hoy día de acero, sino también en la marina donde ya está en gran uso el hacer los buques de acero, con lo cual la navegación ha adquirido gran vuelo.

El cobre ha aumentado su producción considerablemente, debido á los adelantos industriales, y últimamente, debido á la gran demanda del metal puro para los usos de la electricidad: se hace un nuevo desarrollo con los procesos electrolíticos, los que no sólo se limitan al cobre sino también á los demás metales, y muy principalmente al aluminio, que es el metal sobre el cual está concentrada al presente la mayor atención, siendo los principales procedimientos el de los hermanos Cowles (que el mayor acaba de morir) y el de Héroult, basados en la reducción del aluminio por el carbón á temperaturas elevadas, desarrolladas

por el arco voltaico; y por otra parte el proceso Kleiner y sus análogos, está basado en actuar con la corriente eléctrica no tanto como fuente de calor sino para la descomposición del baño fluido, separando el aluminio por acción electrolítica.

En Chile la abundancia de cobre es considerable, habiendo llegado, en su producción, á las cuatro quintas partes del cobre producido en el mundo; debido esto á un adelanto técnico como pasó después de 1820, con la introducción del procedimiento de fundición en reverberos que hizo el ingeniero de minas, señor Lambert; introducción hecha acto continuo después que Leplay publicaba su interesante y completo estudio sobre este proceso. Su introducción trajo á Chile un primer gran desarrollo debido al aumento de la riqueza pública producida por el gran aumento en la producción del cobre: desgraciadamente este incremento no fué en aumento, debido á que hace ya algunos años principió á disminuir la riqueza en los minerales y por seguir la rutina del proceso introducido ni lo han adelantado, ni variado con el cambio de circunstancias ni siquiera lo han conservado en el primitivo carácter técnico en que fué introducido.

Hace pocos años se ha pretendido atender á estas circunstancias y se ha tratado de introducir el horno de manga lo que no se ha conseguido propiamente hablando, debido á que su introducción no se practicó con la técnica suficiente, y de ahí se ha seguido imitando rutinariamente dicha introducción sin atender para nada á las diversas circunstancias por aplicar, de donde ha resultado una vida más que mediocre para este importante procedimiento, el que salvo algunas excepciones, como en la Higuera y Panulcillo, que marcha con alguna regularidad, en los demás se puede decir está casi abandonado.

Ultimamente se ha tratado de introducir un nuevo proceso, como es el basado en el sistema Bessemer, para el cobre, pero tropezando con algunas dificultades técnicas no ha pasado de simples ensayos.

Asimismo se ha pretendido usar la electricidad, pero con tan mal éxito que parece se ha abandonado la idea, debido á que se eligió precisamente el único procedimiento propuesto a este respecto, que contraría los principios científicos, con lo cual se ha retrazado la introducción de la electricidad en la metalurgia del país, la que en algunos puntos puede ser de gran utilidad, como asimismo los procedimientos por vía húmeda.

Se vé en consecuencia, que la metalurgia del cobre en Chile, tomó gran desarrollo y acreció considerablemente la riqueza nacional sólo debido á la introducción de un procedimiento técnico, como el del reverbero y á la alta ley de sus minerales; se ve también que habiendo disminuído la ley de estos y perdido la técnica del proceso es de necesidad atender al adelanto metalúrgico para desarrollar la industria del cobre, la que en Chile puede ser de gran trascendencia debido á la gran abundancia de este metal en minerales de ley baja.

En seguida del cobre viene la plata, á la que sólo le bastó el estudio científico del antiguo procedimiento de amalgamación, para que aplicando técnicamente sus principios haya determinado una segunda era de riqueza nacional; pero con la disminución de la ley en el mineral, es de necesidad también el estudio é introducción de nuevos procedimientos adecuados y á cuyo fin se dedican tantos ingenieros, avanzando poco á poco en este terreno de progreso tanto en la amalgamación como en la vía húmeda en general, no estando lejos el día que vuelva á incrementarse esta rama de la metalurgía, con los nuevos procedimientos que se comienza á implantar.

Incluso á la plata está el plomo, el cual en Chile no se puede tomar como metalurgia propia, sinó como un medio de extracción de la plata. El procedimiento de fundición en hornos de manga, para este fin, está bastante adelantado, siendo el establecimiento de Bella Vista de Antofagasta el que marcha á la cabeza, por su inteligente dirección técnica.

El oro, aunque muy abundante en nuestro país, su metalurgia aun no nace, propiamente hablando y recientemente se principia á despertar.

En el día tenemos á la vista el tercer impulso dado á la riqueza nacional, debido á la metalurgia, ó más propiamente hablando á la química industrial, como es la industria del salitre, la cual debido á la introducción de un proceso enteramente técnico como es el de Schanke, en pocos años abarató la producción con lo que se multiplicó enormemente la elaboración y por consiguiente el consumo.

Estos tres procedimientos técnicos que he enunciado como introducidos á Chile, han sido capaces por sí sólo de transformar completamente el país, pues aumentando la riqueza nacional han dado el bienestar, han desarrollado el espíritu del trabajo dando vida á la agricultura, al comercio y otras industrias y con todo este conjunto ha venido el desarrollo intelectual, etc., sin lo cual estaría aun el país pobre y más que probable entregado aun á las revueltas de bandos como sucede en otras repúblicas de Sud América.

Con esto se ve claro que si se da en Chile el desarrollo debido al estudio de la metalurgia y otros estudios prácticos el progreso sería considerable y con la metalurgia sólo se podría abrir campo industrial á tantos otros metales que tenemos en alguna abundancia y con condiciones industriales relativamente cómodas, así como el aluminio, el oro, el hierro, etc.