

La Actividad Minera en el Cerro Rico y la Ribera

Dr. Ing. Carlos Serrano

Miembro de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM)
y de la Comisión Internacional de Historia de las Geociencias (INHIGEO)

Resumen

El principal objetivo de este trabajo, es mostrar las tres principales etapas de la historia minera y tecnológica potosina, relacionada con los efectos que ésta ha tenido hacia el medio ambiente. Entonces, el espacio cronológico abarca todo el período virreinal español; o sea, el íntimamente ligado a la explotación de la plata; su continuación en la república, también con el argento; la explotación del estaño (en algún momento Bolivia fue primer productor mundial) y, en menor escala, del bismuto-wólfram; y la explotación de sulfuros de zinc-plata-plomo.

Por lo tanto, estamos hablando de 462 años de actividad no interrumpida, tiempo en el cual su aporte positivo a la economía mundial y del país, no deja duda. Lo negativo: más de cuatro siglos de contaminación sostenida. Un otro aspecto al que se quiere dar preponderancia es el aporte de Potosí, especialmente a las técnicas metalúrgicas. No es el caso de los métodos de explotación que se siguen practicando, recordándonos la tecnología medieval descrita por el médico sajón, Georgius Agrícola.

Palabras clave: Historia de la minería, metalurgia extractiva, medio ambiente, plata, Potosí.

Abstracts

The main objective of the present work, is to show the three most important stages of the mining and the technological history of the Potosi city, connected with the effects that it has had with the environment. So, the chronological space comprises of the whole period Spanish-vice-royalty; that is, the one closely bound to the silver exploitation and its prolongation in the republic, and also with the silver-plated; the tin exploitation (in some moment Bolivia was the first world-wide producer) and in a smaller scale of the bismuth-wolfram and the exploitation of zinc-lead sulfides.

Therefore, we are talking about 462 years of activity without interruption supporting positively during this time to the world economy and to the country too, without any doubt. The negative aspect, is that there is some steady pollution for more than four centuries. Another aspect to emphasize is the contribution of Potosi to the metallurgical techniques. It is not the case of the exploitation methods that are still practicing; reminding us the medieval technology described for the saxon physician Georgius Agrícola.

Key works: Mining history, extractive metallurgy, environment, silver, Potosí.

Resumo

O principal objetivo deste trabalho é mostrar as três principais etapas da história mineira e tecnológica na cidade boliviana de Potosí, relacionando-a com os efeitos que essa exploração mineira teve no meio ambiente. O espaço cronológico compreende todo o período do vice-reinado espanhol, ou seja, o período intimamente ligado à exploração da prata; sua continuação durante a república, também com o argento, a exploração do estanho (do qual em algum momento a Bolívia foi primeiro produtor mundial) e, em menor escala, do bismuto-wolfram; e a exploração de sulfetos de zinco-prata-chumbo.

Portanto, estão sendo considerados 462 anos de atividade ininterrupta, lapso de tempo no qual sua contribuição positiva à economia mundial e a do país é incontestável. O aspecto negativo: mais de quatro séculos de contaminação constante. Outro aspecto que se pretende ressaltar é a contribuição de Potosí às técnicas metalúrgicas. Não é o caso dos métodos de exploração que continuam sendo usados, os quais lembram a tecnologia medieval descrita pelo médico saxão Georgius Agrícola.

Palavras chave: História mineira, metalurgia extractiva, ambiente, prata, Potosí.

1. Introducción

En Bolivia, se ha practicado la minería desde épocas precolombinas y, “modernamente”, desde cuando el yacimiento de plata del Cerro de Potosí, fue redescubierto en el coloniaje en 1544, casualmente, por un indígena del Cuzco. Vamos a concentrar nuestra atención a este yacimiento, uno de los más grandes del mundo; y donde la magnitud de las operaciones mineras en el Cerro fue variable, pero sostenida, incluyendo sus épocas de crisis como las de bonanza.

Las tres principales etapas de la historia minera del Cerro Rico, abarcan: primero, todo el período virreinal español; o sea, el íntimamente ligado a la explotación de la plata (de 1544 a 1825) y su continuación en la República (1826-1884); la segunda, con la explotación del estaño, el metal del diablo, y en menor escala de sus acompañantes: el bismuto y el wólfram (1885-1985); y la última, con la explotación de menas complejas sulfurosas de zinc-plata-plomo (1986 al presente).

Tratar de reconstruir toda la actividad minero-metalúrgica es una gran tarea por realizar. No obstante, pretendemos mostrar algunos elementos que permitirán dar una visión de hechos a nuestro entender muy interesantes, de más de cuatro siglos de trabajo sin interrupción.

El legado de la colonización española y continuada en la república, fue catalogado como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, el 11 de diciembre de 1987. Resultado de la actividad minera queda un patrimonio industrial digno de ser conservado: el Cerro Rico, todo el sistema de lagunas, las instalaciones procesadoras (aledaños a la Ribera) y de fundición, y las construcciones civiles de las diversas empresas mineras.

2. La Era de la Plata

El Cerro Rico de Potosí fue el Dorado, el lugar legendario que buscaban los conquistadores. Allí los colonizadores amasaban fortunas, en pocas semanas. Al comienzo de la explotación oficial del yacimiento de Potosí, en 1545, los filones de argentum casi puro (20-50% Ag), afloraban en la cima del Cerro Rico; y los primeros mineros españoles sólo tuvieron que agacharse, para enriquecerse en este emporio argentífero. Obviamente, dejaron para los naturales los trabajos pesados, como ser: el transporte, el tratamiento y la fundición de las menas.

En menos de treinta años, el asiento minero de Potosí se transformó en una villa riquísima, de 120 mil almas. La población aumentó hasta 160.000, entre 1611 y 1650. Era entonces uno de los grandes poblados del Nuevo Mundo, que rivalizaba en tamaño y opulencia con sus similares europeas. Actualmente, la ciudad de Potosí cuenta con más de 160.000 habitantes. Edificada a 3.980 metros de altura, en la ladera norte del Cerro Rico (4.890 metros); el clima es frío y árido con 142 días de helada, una temperatura media de 9 °C y 400 milímetros de lluvia al año.

2.1. Período virreinal español (1544-1825) y republicano (1826-1884)

Desde 1573 hasta 1650, tres factores aseguraron la “edad de oro”, de la minería argentífera potosina: a) la utilización del proceso de amalgamación, inventado en 1555 en Pachuca/México; b) un régimen de coacción o trabajo civil obligatorio: la *mita*, impuesto a los naturales (“abolida” en 1812); y c) una energía hidráulica abundante utilizada hasta 1872, año de la introducción de la electricidad y del vapor, que alimentaron a las instalaciones de procesamiento de minerales.

Durante la docena de años gloriosos que siguieron al descubrimiento de los primeros cuatro filones, las menas (plata nativa, cerargirita y argentita) se extrajeron a tajo abierto de las vetas y bolsoneas de plata. Baste un ejemplo: la veta Rica, con una potencia de 1 a 4 metros de espesor, cien metros de longitud y casi lo mismo de profundidad, tenía una ley de cabeza <50% Ag; lo propio, sucedía con las otras tres vetas: Centeno, Mendieta y del Estaño, que afloraban en la cima y que respondían satisfactoriamente a la fundición con tecnología nativa: los hornos *wayra*.

Cuando en 1556 se agotaron las ricas vetas de la cima, comenzó la explotación subterránea del yacimiento, mediante: socavones, galerías, recortes, corridas, piques, pozos o cuadros y lumbreras. Allí por 1573, las minas llegaron a alcanzar los 250 metros de profundidad. Hacia 1650, se excavaron cuadros hasta de 600 metros de profundidad, con ayuda de barretas y talvez con algo de explosivos (pólvora); y sus minas confrontaron el problema de la presencia del agua. A fines del siglo XIX, se conocían más de 300 bocaminas.

Hacia 1566, al final del primer momento de esplendor (primer boom), la producción inicia su declive. El virrey Toledo, se dirigió a Potosí a fines de 1572. Allí reunió un grupo de mineros para presentarles el nuevo método de tratamiento de menas argentíferas de baja ley (<2% Ag); método éste que necesitaba la edificación de ingenios hidráulicos.

Entre 1581 y 1600, Potosí produjo más del 42% de la plata mundial (en los años 1556-1600, produjo 5.124 toneladas de plata, dando un promedio anual de casi 116 toneladas; o sea le correspondía un 27% de la producción mundial, durante casi medio siglo). Tres períodos de intensa producción marcan la explotación de las minas de plata: a poco del inicio de las actividades en 1545, entre 1573 y 1650, y entre 1750 y 1800. La producción de plata llegó a superar las 200 toneladas, en 1588; y la más baja fue de 30 toneladas, en 1720.

El comienzo del siglo XIX, conoce dos crisis de producción de la plata. La primera, entre 1800 y 1805, la Ribera paró muchas veces, y asimismo la importación del mercurio extraído de las minas españolas quedó interrumpida por las guerras napoleónicas, de manera que las menas argentíferas (sulfosales o “negrillos”) ya no podían ser tratadas. La segunda, debida a que la lucha por la independencia desorganizó los circuitos de producción. La población de la Villa Imperial alcanzó su mínimo histórico (de ocho mil almas) durante ese período turbulento.

Se estima en 30 mil toneladas, la plata producida en el Cerro de Potosí entre 1545-1825; o 45 mil toneladas, hasta hoy (colonia-república). El historiador Arduz, indica que fueron 706'345.575 onzas troy finas (21.970 toneladas), entre 1556 y 1799 (243 años; y representan el 21% de la producción mundial en ese período).

En 1825, año de la independencia, Potosí es parte de la nueva república de Bolivia, empieza el período republicano de la explotación del *argentum*. Hacia 1840, la producción mejora, se trata del cuarto momento de esplendor minero de la historia del Cerro Rico. El máximo de la producción no alcanzó, empero, ni la mitad de lo conseguido en los años 1750-1800.

Veamos a continuación algunos factores y la tecnología empleada para obtener la plata.

a) La utilización de la energía hidráulica [1]

Antes de la construcción de los embalses, los ingenios de procesamiento se instalaron en las afueras de la Villa (en los ríos: Cayara, Mataca y Chaquí). Para evitar el transporte demasiado largo de los minerales, los españoles construyeron diques más cercanos a la Montaña de Plata y excavaron un canal, más tarde denominado: La Ribera de la Vera Cruz; que atraviesa Potosí siguiendo la madre de un río intermitente. Los trabajos del canal de la Ribera, empezados en diciembre de 1574, fueron concluidos en marzo de 1577 (medio año después de concluida la construcción de las primeras lagunas, en las quebradas de San Ildefonso y San Sebastián). Su caudal, era del orden de 160-250 litros por segundo.

Los españoles se propusieron sacar tajada de la topografía de la Cordillera del Kari-Kari y juntar todas las lagunas artificiales en una vasta red, para dotar de agua a los ingenios y a sus pobladores. Las obras civiles comenzaron en 1573 con el de la laguna Chalviri. Medio siglo más tarde, unos 18 reservorios reunían un volumen total de cinco millones de metros cúbicos de agua. La alimentación regular de energía hidráulica aseguró el apogeo de la actividad minera, entre 1573 y 1650. Se trata del segundo momento de esplendor (segundo boom).

El agua que fluía por la Ribera (en algún momento, cinco millones de toneladas), dio paso a la erección de los ingenios, en unos quince kilómetros siguiendo su curso (agua proveniente de la laguna de San Sebastián, a la cual se interconectaban la gran mayoría de los reservorios). El agua almacenada en San Ildefonso y en otras fuentes (en algún momento, un millón de metros cúbicos), alimentaba las 286 piletas de la Villa.

Durante este período, la producción argentífera aumentó proporcionalmente al caudal de agua utilizado, hasta que la caída de la ley de cabeza disminuye la rentabilidad e impone la construcción de nuevas lagunas, para tratar cada vez mayores toneladas de menas. Por desgracia, pese a los esfuerzos de los beneficiadores, la producción de plata durante la colonia no superará los niveles o record de comienzos

del siglo XVII.

La llegada del vapor y de la electricidad, en 1872, corresponden al quinto momento de bonanza. La fuerza hidráulica ya no es el único motor de la actividad minera. No obstante, se mantuvo el sistema hidráulico colonial. Subsisten algunas pequeñas instalaciones de tratamiento en la Ribera, donde se trituraban las menas de contrabando y de baja ley, pero la maquinaria quedó obsoleta. A finales del siglo XIX, sólo persistían 17 ingenios accionados por agua.

Allá por 1930, seis lagunas alimentaban aún a Potosí, que contaba con 35.000 almas; o sea la quinta parte de la población de la ciudad, durante su apogeo. Pese a ello, se decidió restaurar los embalses, porque las necesidades de agua de parte de la población, en el siglo XX, eran superiores a las de la época colonial; además, las empresas que concentraban el estaño mediante gravimetría, exigían la provisión continua de agua durante todo el año.

En 1935-36, el ingeniero americano William Rudolph, restauró, con 800 obreros, el sistema de lagunas en cascada heredada de los españoles. Fue contratado por uno de los barones del estaño, Mauricio Hochschild, propietario de la Compañía Minera Unificada del Cerro de Potosí. Las lagunas de la época colonial, restauradas, continúan hoy en día abasteciendo a la población y a la industria metalúrgica de Potosí, con sus cerca de 30 instalaciones de flotación.

b) El trabajo forzado

Los *mitayos*, en la colonia, pagaron un pesado tributo a la explotación, beneficio y fundición de la plata; así como a otros rubros como la construcción de los embalses, canales e ingenios. La mano de obra para la amalgamación la componían personas de toda edad, incluso niños; y no era nada despreciable, especialmente en la fundición, el trabajo de las esposas de los naturales.

Para el trabajo de coacción se reclutaba a los naturales, distando de Potosí algunos pueblos hasta 600 kilómetros. Este trabajo forzado afectaba a los varones comprendidos entre los 18 y 50 años de edad, y aún a los menores de 18, casados; también de las comunidades indígenas desde el Cuzco, pasando por el Lago Titicaca, hasta Tarija (más de 139 pueblos comprendidos entre las 13 ó 17 provincias del Altiplano y regiones circunvecinas). En un principio, 13.500 *mitayos*, anualmente, estaban obligados a trabajar en Potosí durante un año. Estos eran distribuidos en tres grupos de 4.500, para que trabajen una semana y tengan dos de descanso. Consiguientemente, al año trabajaban durante cerca de cuatro meses.

Hacia 1750, la población nativa, mermada por las epidemias y las condiciones de trabajo particularmente duras en las minas, en los ingenios y fundidoras, sólo era un cuarto de la de 1533, fecha del arribo de los colonizadores. En los ingenios, por la trituración en seco de las menas, se desprendía un polvo finísimo que los obreros aspiraban; de otro lado manipulaban sin precaución el azogue tóxico. Pero, los mestizos, los pequeños comerciantes y todas las categorías exentas de la *mita* se multiplicaron. Asimismo, trabajadores

libres o aquellos que habían cumplido con su servicio obligatorio, eran empleados en las minas, ingenios de amalgamación y fundidoras.

En 1780, los naturales sometidos a la coacción apenas sumaban 2.880; frente a los 13.340, llamados en 1573; y 10.460, en 1617. En 1750, el rey de España reconocía la amplitud de las pérdidas humanas desde el comienzo de la *mita*, confirmando que sólo unos veinte nativos trabajaban como obreros y peones en cada ingenio de agua; frente al doble, de comienzos de la instalación de ellos.

Sólo gracias a la explotación cada vez más dura de esta mano de obra gratuita habría tenido lugar el tercer momento de esplendor minero entre, 1780 y 1800. No obstante, la bonanza potosina fue frágil a finales del siglo XVIII. España envió consultores y misiones para reactivar y modernizar la industria minera, pero la resistencia al cambio fue notable.

El trabajo forzado de generaciones de nativos, de 1573 a 1812, en las minas, ingenios y fundidoras, sigue siendo la cara negra de Potosí. Los naturales celebraban su partida hacia la Montaña de Plata, como una ofrenda a la diosa de la Tierra (la "Pachamama") y, como un viaje sin retorno. Si el Olimpo del Cerro Rico fue generoso para los colonizadores; Potosí, fue un infierno, en las entrañas de la tierra y afuera, para miles de indígenas y sus familias.

c) La fundición [2]

Los originarios escogían los minerales ricos de los afloramientos de las vetas y los colocaban en sus hornos nativos denominados *wayras*. Estos hornos eran cilíndricos (más angostos por la base y anchos en la parte superior) y variaban entre 0.8 y 1.7 metros de altura. Tenían agujeros en todas sus paredes laterales, en forma de orejas, para permitir el paso del aire y, además, se los aprovechaba para añadir el combustible. Estaban contruidos de piedra, adobe y arcilla; el piso del horno, que era el receptáculo para la plata fundida, estaba contruido de partes iguales de carbón vegetal y tierra. Complementando: una vez triturado y molido el material extraído del Cerro, lo lavaban para separar la tierra o colas acompañantes. A dos porciones de este material limpio, le añadían una parte de soroche o galena argentífera; por último, se le agregaba escorias de fundiciones previas.

Los hornos eran ubicados a lo largo de las cumbres y en las laderas de los cerros, orientándolos en dirección del viento. Estas *wayras*, sólo trabajaban cuando el viento era moderado (entonces se fundía gran cantidad de plata); ya que si éste era fuerte, el combustible (taquia o excremento seco de las llamas, carbón de madera y madera) se consumía muy rápidamente sin fundir la mena rica. En los primeros años de la colonia, no hubo problemas de abastecimiento de combustible; pero con el transcurrir del tiempo sí los hubo, y su transporte influyó en los costos de fundición.

Los *yanacunas* cargaban la *wayra*, con trozos del tamaño de más o menos 10 centímetros o menos. Se fundía simultáneamente una carga de 2 a 3 toneladas, durante unas cuarenta horas, que era el tiempo que debían permanecer los

hornos encendidos. El metal se licuaba y formaba una espuma. Terminada esta operación, el fundidor abría una puerta a un lado de la *wayra*, y dejaba que la parte superior del fundido saliese. Ésta, no contenía la plata. Después, removía el resto (la plata con el plomo y algún otro acompañante) y hacía correr el fundido pesado, por el piso, a través de una canaleta situada en la base del horno. Una vez que se solidificaba, tenía la apariencia de plomo y se lo denominaba "crudio". Este material era nuevamente fundido, 5 ó 6 días después y era retratado, pero sólo durante unas treinta horas. De esa manera se mejoraba la calidad del metálico; y esta operación recibía el apelativo de "endulzar el crudio". Así se obtenía una barra de plata-plomo.

Para terminar de purificar la plata, se la calentaba por tercera vez, durante más o menos dos horas. Se empleaba los hornos denominados *tocochimbos* (también de tecnología originaria), para este proceso final de refinación; y eran pequeños, redondos, de no más de 0.8 metros de diámetro y poseían dos puertas. Sólo pequeñas cantidades de metal se procesaba en ellos. De la misma forma que en la *wayra*, aquí, conforme el metal hervía se formaba una espuma en la parte superior que, al ser soplada con ayuda de fuelles, dejaba la plata pura.

Muchos años más tarde, los españoles recuperaron el dominio del negocio minero. Uno de los rubros más importantes fue la fundición; ya que los mercados de la corona exigían que los metales preciosos se comercialicen como barras fundidas. Entonces, se dedicaron a construir hornos, que empleaban carbón de madera. Eran verticales, de base cuadrada o ligeramente rectangular; más anchos que altos (0,8 - 1,7 metros) en dependencia del lado en que se ubicaba los fuelles. En su parte posterior había una ventana, para acomodar los fuelles. El piso estaba contruido de una mezcla, en iguales proporciones, de carbón de leña y tierra apisonada suavemente. Hacia el frente del horno castellano, había un pequeño hueco por donde la temperatura era mantenida mediante el uso de fuelles. Algunos de estos hornos eran cilíndricos (de mayor diámetro en la parte superior, con relación a la base). Se parecían algo a las *wayras*, y no eran muy comunes en Potosí; y esto se debía, simplemente, a que los minerales del Cerro Rico no respondían al uso de fuelles.

Otro tipo de hornos empleados para fundir minerales de baja ley, eran los hornos de reverbero; parecidos a los hornos de panificación, "excepto que la puerta a través de la cual se caldeaba el horno con fuego estaba algo más de un pie [28 cm] por encima del piso del horno" [2]. Eran cuadrados o casi de esa forma, y sus dimensiones variaban de 1,7 a 2,5 metros en los lados, por un metro de alto. Sus paredes, eran fabricadas de adobes de barro; y las esquinas, en la parte interna, se rellenaban con madera que se introducía al horno a través de una puerta. Un segundo horno, estaba pegado al primero; y el humo salía de él, a través de la chimenea del segundo.

Si bien la fundición dejó de ser el procedimiento principal, ocurrió que a los pocos años de la implantación de la amal-

gamación, ésta se practicó a otro nivel; ya que, después de ella, las piñas de plata necesariamente tenían que ser fundidas en hornos pequeños, y donde el papel de las mujeres de los *mitayos* y *mingas* jugó un gran rol no sólo como rescatadoras de los concentrados ricos, sino porque procedían a fundirlas, en sus viviendas.

d) La amalgamación [1]

En los tiempos de la colonia, las menas de plata bajaban de las minas del Cerro hasta el patio del ingenio, en morrales y a lomo de llama, asno o mulo. La llama, fue el animal más utilizado; y la administración española requería de miles de ellas. El mineral, en forma de trozos de unos diez centímetros de tamaño se colocaba en un rincón del patio, para su secado durante algunos días. Las trituradoras de pisones, empleadas en Potosí, se parecían a las inventadas a comienzos del siglo XVI, en los ingenios de Sajonia; estaban equipadas con cuatro a seis mazos, calzados en un extremo, cada uno con una almadaneta de hierro, cobre o bronce.

Gracias a una serie de levas y sobarbo (espigones), los mazos se levantaban, unos después de otros, unos veinte centímetros, antes de caer sobre los trozos de mineral que descansaban sobre el morterado (piedra dura de andesita). Al eje, que accionaba los mazos, lo movía una rueda hidráulica cuyo diámetro variaba entre cuatro y seis metros. Casi toda la construcción era de madera. Donde era necesario se empleaba grasa para lubricar. Todos los canales, cárcamo (donde se encontraba la rueda) y los apoyos se construían de calicanto. El mineral se trituraba hasta un tamaño de varios milímetros. Cada almadaneta podía fragmentar unas veinte toneladas, cada mes.

Varios tipos de molinos se empleaban en la segunda etapa, y en la cual las menas eran reducidas a un polvo fino (harinas < 4 mm). El conjunto de ambas etapas de reducción se denomina fragmentación (trituración-molienda). El material, luego era clasificado con la ayuda de cernidores (cedazos con cubiertas de alambre), según la granulación deseada. El material fino se transportaba al centro del patio y se lo almacenaba en los cajones, de: cincuenta centímetros de alto, dos metros de ancho por tres de largo (capacidad para 2,3 toneladas); unos junto a otros.

En los cajones se efectuaba la amalgamación. A la "harina" de mineral se agregaba agua y, uno después de otro, diferentes reactivos (sobre todo sulfato de cobre o estaño o plomo, cloruro de sodio y cal) y mercurio o azogue; cuyo papel era esencial en el procedimiento. Durante veinte a treinta días, la mezcla seguía reaccionando en los cajones. Se procedía después al lavado (en tinas o *ckochas*). La ganga más ligera, salía por un canal de evacuación; mientras que la amalgama de Ag-Hg se quedaba en el fondo de los estanques. Se recogía la pella; después de escurrirla (con ayuda de un trapo), se prensaba en moldes o piñas. Puesta al horno, a casi 360 °C, el mercurio se volatilizaba. De cada piña fundida (en hornos de reverbero), se recogía plata pura del 95%.

Para acelerar la química de la amalgamación, los potosinos pasaron de aquella que se llevaba a cabo en frío, a la amal-

gamación en caliente o en "buitrones". Pero, la carencia de carbón hizo fracasar esa tentativa. En eso, se introdujo la aplicación de los magistrales (cobre, plomo, estaño, hierro, sulfato de cobre). Muchos son los desarrollos tecnológicos potosinos, que sin duda contribuyeron a la metalurgia de la plata a escala mundial; baste citar: el proceso de "cazo y cocimiento" desarrollado por Álvaro Alonso-Barba, que en Europa se lo bautizó como el "proceso de barriles o de Born".

En este método, en lugar de dejar la plata amalgamarse con el mercurio en los cajones, el mineral y otros reactivos químicos se agregaban a toneles giratorios. La agitación aumentaba la velocidad de reacción, ya que el proceso concluía en 24 horas; mientras que hacían falta varios días en el proceso de cajones; además, en las postrimerías del siglo XVIII, la mano de obra resultaba insuficiente. El mercurio escaseaba y el aprovisionamiento de energía hidráulica era deficitario; a causa de la sequía general de los Andes, entre 1780 y 1810.

2.2. Actividad Minera Empresarial en la República

A poco tiempo del nacimiento de la República, Simón Bolívar autorizó que los trabajos mineros en el Cerro Rico sean efectuados a través de compañías inglesas, que invirtiendo pudieran hacer renacer la estancada minería potosina. Previamente, se contrató al irlandés Joseph Pentland para que presentase un diagnóstico sobre el estado de la actividad minero-metalúrgica. Este consultor, critica, que a comienzos de 1825, la empresa "Potosí, La Paz and Peruvian Mining Association", conformada en Londres, no hubiera dirigido su atención a la continuación del proyecto del Real Socavón, que solamente requería capital de operación [3].

En enero de 1827, sólo seis minas estaban en operación; y todavía existían en ellas minerales con un contenido entre 1.875-2.500 g/t Ag. Por lo general, en el Cerro, se estaba explotando dos clases de materiales: los *pacos* (menas terrosas donde predomina la cerargirita), en el interior; y los rodados, en su exterior (ambas con una ley entre 660-800 g/t); cuyos costos de operación eran bajos, y por su gran abundancia generaban una utilidad de 20-25%; lo que no sucedía si las menas eran extraídas de las pocas minas en actividad. En esos años, el 80% de la producción la realizaban 1.450 obreros. Entre las muchas causas para el estado de crisis de la producción de la plata, se nombran: la forma poco juiciosa en que fueron trabajadas las vetas principales; las dificultades para limpiar los antiguos trabajos, en los períodos subsecuentes; y por la ignorancia de parte de quienes la emprendieron. En cuanto a las plantas de tratamiento, estaban operando unas quince, y ocupaban a unas 450 personas. La producción en el Cerro, en 1826, fue de 23 toneladas; a las que en ese tiempo se le asignó un valor de casi un millón de pesos [3]. El irlandés era muy optimista y no compartía la idea de que las minas del Cerro se habían agotado. El tiempo le sigue dando la razón; ya que desde la crisis del estaño en 1985, la plata potosina, sola o acompañando a los concentrados de zinc, vuelve a ser el producto

de exportación de importancia, en cuanto a la generación de divisas para Bolivia.

Otras empresas y empresarios que sobresalieron en la minería argentífera del Cerro, fueron: en 1825, la empresa "Chilena and Peruvian Company", que obtuvo una serie de concesiones mineras no ratificadas por su casa matriz en Londres [4]. Ya nos hemos referido a "Potosí, La Paz and Peruvian Mining Association", con un capital de un millón de libras esterlinas (no todo con la idea de invertirlo en el Cerro), que utilizaron para adquirir: maquinaria, mercurio, herramientas y toda clase de insumos.

Dámaso de Uriburo, quien a principios del siglo XIX (de junio de 1825 hasta octubre de 1828), actuaba por encargo de un grupo de inversionistas bonaerenses a quienes los representaba en diversos negocios mineros (obtener concesiones, minas y sus ingenios; liberación de impuestos para importar todo tipo de equipos, materiales, herramientas, etc., y lograr facilidades para los exportadores de oro, plata y cobre; salvo el pago del impuesto básico del 10%) [5].

Tenemos otras dos empresas: la "Compañía del Real Socavón" y la "Sociedad Bolívar". La primera, se conformó en 1828 y quería continuar la obra del Real Socavón; empero después de haber invertido el equivalente de unos 75.000 dólares suspendió los trabajos [6]. En septiembre de 1840, el prefecto del departamento adjudicó a la "Sociedad Bolívar", el socavón Berrío y las cuatro minas de Cotamito y Pampa-Oruro, por el hecho de estar abandonadas [7].

Otro caso, interesante, es el de tres hermanos salteños e inventores. Se trata de Manuel, Francisco de Paula y Serapio Ortiz, quienes inventaron, en 1836, una maquinaria para efectuar el repaso durante la amalgamación de la plata; lo que permitió ahorrar los jornales de los *repasiris*, o sea de la gente encargada del mezclado de la mena fina con el azogue y los otros ingredientes. Se trataba de una agitadora o máquina mezcladora o de revolver. Con la implementación de su maquinaria redujeron el tiempo de amalgamación de veinte (con el método tradicional) a catorce días; todavía podía bajarse más, si se cambiaba los mulos por agua, viento o vapor (esto significaba más horas de mezclado). Otra ventaja, radicaba en que la pérdida de azogue mediante este método era mínima (345 gramos) contra los 4.7 kilogramos del método tradicional. A fin de poder compartir su invento o know how, firmaron un acuerdo con el gobierno del Mariscal Santa Cruz, a cambio de una generosa indemnización. Estos tres hermanos, fueron los industriales mineros que más produjeron en la Ribera, durante buenos años (hasta la década de 1850, ellos estuvieron a la cabeza de los productores) [8].

En septiembre de 1854, surgió la "Compañía Minera del Real Socavón", sobre la base de las propiedades adquiridas a Francisco Paula Ortiz, formando un capital de 127.400 pesos. El 28 de septiembre de 1854, José Avelino Ortiz de Aramayo, denunció por despoblado el socavón Berrío o del Rey, junto con las minas que le corresponden (Pampa-Oruro y Cotamito) que le fueron, en octubre, adjudicados. También pasó lo mismo con el socavón Forzados y Don Aurelio, que se adju-

dicó pese a cierta oposición. Otras minas debajo del socavón Jerusalén y el ingenio Quintanilla, pertenecían a esta Compañía [7]. Entre 1854 y 1861, sus minas produjeron 3,5 toneladas de plata, avaluadas en 150.673 pesos; de éstos, con 82.073 cubrían sus gastos de operación (mina-ingenio), quedando un saldo a favor de 68.600 pesos que fueron reinvertidos, especialmente en infraestructura. En esos casi siete años, la compañía invirtió 280.906 pesos, y terminó con un déficit de 60.412 pesos [9]. Hasta el 31 de enero de 1872, esta empresa había dispuesto para las labores más de 391.487 dólares. El ingeniero alemán Rück, ha calculado que en el famoso Real Socavón, que se principió por el Berrío, se había invertido hasta 1869, la friolera de 1.066.415 dólares [6].

El 8 de agosto de 1857, se fundó "La Riva y Compañía". Tres conocidos industriales mineros potosinos se habían asociado para ello: Romualdo La Riva, José María Basabe y Anselmo Hernández. Trabajaron unas 20 minas en el Cerro (figuraban: La Riva, Caracoles, Arenas y Rey Socavón); y su producción, ya beneficiada, alcanzaba a 506-690 kilogramos de plata, al mes [10].

Otro descendiente alemán, Guillermo Schmidt, tenía intereses en el Cerro y actuaba bajo la razón social de "Sociedad G. Schmidt y Cia.". No conocemos la fecha del inicio de sus actividades; eso sí, que en 1879, estaba dedicada a limpiar y a la colocación de carril al socavón Candelaria, con dirección a la veta Polo (con ley de 4 kg/t Ag y un ancho de 0,42 a 0,63 metros), de fácil explotación. También trabajaban la veta Encinas, mediante el socavón Potosí [11].

A una última empresa, consolidada en Londres, queremos hacer referencia. Se trata de "The Royal Silver Mines of Potosí Bolivia, Limited" (1857-1911), que tenían derechos propietarios en el Cerro Rico. En el año 1857, sólo existían o trabajaban en el cerro, un pequeño número de empresas. La mayoría de las minas eran explotadas por el sistema de "*k'ajcheo*" o el "*pallaqueo*", de los innumerables desmontes. Entonces, no era raro que muchas minas estén inundadas; y por eso abandonadas [7]. Como muchas, acometió la obra magna de perforar el Cerro, mediante el Real Socavón y el de Forzados. En 1886, su capital de 360.000 libras esterlinas estaba dividido en acciones. Ese año dependían de ella unos mil trabajadores; y en 1890, ya estaban produciendo al mes 1.150 kilogramos de plata; o sea, más o menos 14 toneladas por año. Esta empresa trabajó los antiguos parajes conocidos como Cotamito y Pampa-Oruro. Ellos introdujeron el transporte con rieles, empleando carros metaleros (a lo que se llamó el carroneo). Reactivó el socavón Forzados, dirigiéndose a las vetas San Miguel y Alcko Barreno, y al socavón Victoria [10].

A pesar de las inversiones, las causas para la decadencia de la actividad minera, radicaban, en: a) pésima explotación en las minas, b) falta de conocimientos metalúrgicos, c) falta de capitales y d) un último argumento que se discutía, se refería al *k'ajcheo* (o robo, por parte de estos personajes). Se deja entrever que la mano de obra en Potosí, estaba muy relajada en sus costumbres y actuaba ya con mucho cinismo,

porque no había minero que no haya “robado mineral”, en el Cerro Rico. Esto ocasionaba que el trabajador deambule de una empresa a otra, y siempre esté buscando buenas minas para practicar su habilidad; que se remontaba a fines de la colonia. Aramayo, opinaba así: “*el sistema de cajcheo ha prevalecido en todas las minas de Bolivia, pero sólo en Potosí se [la] práctica en el día; es cierto que no ha habido tentativas serias para abolirlo, a consecuencia de la falta de cooperación entre los propietarios de minas*” [6].

En 1891, dando un revés a la economía boliviana, los Estados Unidos adoptaron el “patrón oro”, que eliminó la plata del sistema monetario internacional. La desmonetización de la plata supuso el fin de su principal demanda. Los industriales mineros decidieron definitivamente explotar el estaño del Cerro Rico de Potosí y otros yacimientos; y cuya demanda creció hasta la crisis mundial desencadenada por la bancarrota de la bolsa de metales, en octubre de 1929 [1].

3. La Era del Estaño: Un Siglo de Actividad (1885-1985)

En lo que toca a la explotación, podemos mencionar que: Luis Soux, recién llegado a Potosí, inspeccionó todo el Cerro Rico y sugirió a los accionistas de “La Riva, Hernández y Basabe”, que se trabajara la zona estañífera; lo que ellos no aceptaron, y él se fue con la idea fija de dar el salto tecnológico: olvidarse de la plata y explotar las menas de estaño.

3.1. El Francés Luis Soux [12]

Una de las empresas más prestigiosas asentadas en el Cerro Rico, fue la “Compañía Minera de Potosí S.A.”, cuyo accionar está íntimamente ligado a la vida del ingeniero francés Luis Soux. El mineral souxita ($\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), en su honor, fue encontrado en la veta Utne, de la mina Cotamito.

A él se lo puede considerar como pionero, ya que de los trabajos tradicionales caracterizados por la explotación de pequeños tonelajes y minerales ricos, pasó a hacerlo con minerales de baja ley y en altos tonelajes. Este cambio de escala, también era necesario efectuarlo en las plantas de tratamiento, entonces, los procesos perfeccionados por el francés no sólo abarcan la metalurgia; ya que él se preocupó, por: la exploración, explotación, concentración, fundición y comercialización de menas de plata, cobre y estaño.

Entre los adelantos tecnológicos, atribuibles a este ingeniero, podemos citar:

En la explotación. En los primeros años de la década de 1900, y en la boca del cuadro López, instaló un torno con dos baldes para extraer el mineral; con vaciado automático y accionado desde la cancha mina por un motor a petróleo, de un cilindro, con generador eléctrico. En 1904, Soux, solicitó autorización para instalar un andarivel, entre la mina Caracoles y la planta Velarde.

Su hijo Augusto, en 1921, estableció el sistema de control mediante fichas y la oficina de distribución. Se instaló una red telefónica en las dependencias de Pailaviri. Un año después, el principal socavón, Pailaviri, contaba con 800 metros

de línea decauville para el transporte con carros metaleros; los trabajos de perforación se los efectuaba con perforadoras eléctricas y de aire comprimido, y el callejón estaba iluminado hasta el tope. En el cuadro, se instaló una jaula, para transportar a los trabajadores, materiales y minerales. Por el año 1925, la Compañía solicitó autorización para aplicar el Reglamento Preventivo Contra Accidentes de Trabajo en Minas.

Por otra parte, Soux, montó una fábrica de dinamita. Este empresario, en 1929, estaba pensando operar los relaves de la Ribera, empleando excavadoras. En Aroifilia, ya se lo hacía para todo lo que la draga no podía extraer. En cuanto a los sistemas de explotación, Soux introdujo los métodos de: rajo suspensión, y suspensión y al piso; que fueron debidamente adecuados al tipo de yacimiento, como lo es el Cerro. La profundidad del cuadro central, de la mina Pailaviri, fue diseñada y construida bajo su dirección.

En la metalurgia, podemos destacar, que: a fines del siglo XIX, diseñó hornos para llevar a cabo la tostación clorurante de menas argentíferas. Él, fue quien introdujo la fundición de concentrados de estaño, en Velarde. Debemos destacar, que él combinó la concentración mediante jigs y la flotación, en el tratamiento de las menas de estaño; elevando así la recuperación y reduciendo los costos de operación.

Cuando el francés ya trabajaba con Dupleich y Arnal, en Velarde instalaron un horno de fundición. Se mezclaban los concentrados ricos de estaño con cal y sal, y se usaba taquia como combustible. Para mejorar la tecnología, Soux viajó a Cornwall/Inglaterra, dejando a sus socios produciendo barras con 93% Sn. Mas, sus socios o porque no pudieron vigilar la operación o cambiaron las proporciones de los ingredientes, hicieron que los hornos se atorasen. Desesperados, ambos empresarios le solicitaron que retorne. De 1894, data una escritura de compromiso para procesar minerales conteniendo plata, mediante la lixiviación; empleando la tecnología de la cual Roberto Hartmann, era concesionario en Bolivia. Un siglo más tarde, en Potosí se cianuraba nuevamente la plata. La lixiviación, así como la fundición y concentración del estaño, gracias a la perseverancia de Soux, alcanzaron en Velarde, su más alto grado de perfección. Los minerales sometidos a este tratamiento contenían mayoritariamente piritas, “cobre gris” y casiterita. Esta última, generalmente, con bajas leyes de plata.

En la década de 1920, la “Compañía Minera de Potosí”, contaba con dos plantas de lixiviación y dos de concentración; además, una planta de energía eléctrica instalada cerca de la Ribera, con una potencia de 75 HP, y que abastecía a muchas instalaciones procesadoras. También poseía una instalación de motores Diesel, con 200 HP, que él la diseñó.

La planta Chaupi, por los años 1923, trataba 50 t/d mediante concentración gravimétrica, con cuatro jigs; obteniéndose un concentrado final y mixtos que, remolidos, eran procesados en 13 mesas granceras (por primera vez en Potosí, en la planta Velarde se instalaron las mesas Wilfley, para recuperar SnO_2). Los mixtos, de ellas, también eran remolidos para su posterior retratamiento en 15 mesas lameras. En Velarde,

organizó una sección de escogido manual (sorting plant). Consistía ésta de una cinta transportadora, donde obreros (mujeres y jóvenes), sentados, efectuaban la selección de casiterita por su alta densidad y color, frente a las piritas y la ganga. La planta Trinidad, operaba con un proceso gravimétrico y trataba menas previamente lixiviadas, para recuperar la plata; para ello, como en otros ingenios, se realizaron fuertes inversiones. Soux, diseñó los flujogramas e instaló plantas de tratamiento, colaborado por otros consultores extranjeros. Introdujo la flotación directa de piritas (el no flotante era la casiterita), así como la flotación de la plata (en mayo de 1930).

3.2. Un Judío-alemán en el Cerro Rico de Potosí [13]

El ciudadano alemán Mauricio Hochschild, llegó a adquirir buena parte de las pertenencias de la “Compañía Minera de Potosí”, y con éstas y otras formó la “Compañía Minera Unificada del Cerro Rico” (CMUCP), cuyo primer directorio estaba presidido por Luis Soux. Desde que Hochschild, tomó la administración de las minas que pertenecieron a Soux, no se repartieron dividendos; mientras que él se asignó el 5% de “comisión” por la administración, y sobre la comercialización de los concentrados de estaño producidos.

En 1929, el grupo Hochschild proporcionaba ya el diez por ciento de la producción boliviana de estaño. Entre los años 1930 y 1939, llegó a producir 3.289 t/año, basándose en adquisiciones de nuevas concesiones mineras; y de maquinaria, especialmente para el tratamiento y de fuentes de agua. En 20 años, Hochschild, de simple rescatador de minerales pasó a ser el segundo productor de estaño (más otros metales) más importante de Bolivia; pero, eso sí, nunca pudo igualar el tonelaje del primero: Patiño. Waszkis, afirma que su papel en la historia económica boliviana es muy controvertido; ya que, habiendo llegado al país a los 40 años, en menos de dos décadas se convirtió en un industrial y comerciante poderoso y rico, con muchas conexiones e influencias políticas; aunque nunca se le probaron actividades ilegales.

En 1930, la calcinación y cloruración eran aplicadas a sulfuros, en cinco hornos Humboldt, de siete pisos (con agitadores refrigerados por aire y árbol hueco). Se trataba de una planta de 67 t/d; la mena, tetraedrita, tenía 600 g/t Ag y hasta 1% Cu [12].

En uno de los informes de la CMUCP, de fecha 30 de enero de 1935, se menciona que los minerales óxidos extraídos de la mina eran escogidos a mano (*palleo*). El resto era molido y posteriormente sometidos a la concentración gravimétrica, lográndose obtener “barrillas” o concentrados con 50-60% Sn. Cuando se trataba minerales sulfurosos y eran éstos de buena ley, se escogía la casiterita a mano y el resto se calcinaba en pequeños hornos, y se concentraba mediante gravimetría, hasta obtener concentrados de alta ley: unas 250 toneladas al mes, con 60% Sn.

En 1952, nacionalizaron las minas de los tres barones del estaño; le pagaron una baja indemnización por sus bienes,

argumentando que durante mucho tiempo habrían defraudado al fisco.

3.3. La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL)

Como consecuencia de la nacionalización de las grandes empresas mineras, se creó la COMIBOL, mediante Decreto Supremo de 2 de octubre de 1952 y elevado al rango de Ley recién el 29 de octubre de 1956.

Los primeros años, la COMIBOL pudo dirigir sus empresas (entre ellas la “Empresa Minera Unificada del Cerro Rico”, EMUCP); pero al poco tiempo estaba prácticamente en bancarota, y a pesar de ello la burocracia no fue saneada; entonces, se contrataron créditos salvadores que no cumplieron su objetivo. Aquí se debe remarcar que una buena parte de ese dinero se lo gastó en emolumentos; ya que siempre se estaba pensando en planes de expansión.

En el Cerro Rico de Potosí, se explotaron las menas estañíferas (casiterita, SnO_2 ; estannina, $\text{Cu}_2\text{SnFeS}_4$; souxita, $\text{SnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), desde fines del siglo XIX, hasta el colapso de la minería estatal boliviana, a causa del cierre de la Bolsa de Londres, en 1985; un siglo de trabajo de los tres grupos mineros: COMIBOL, Minería Chica y Cooperativistas. Si bien el yacimiento más grande era Llallagua, del Cerro Rico se extrajeron cien mil toneladas de concentrados de estaño (hasta 1973). Además, estas menas contenían wólfram (wolframita, $\text{Fe, Mn}[\text{WO}_4]$) y bismuto (bismutina, Bi_2S_3 ; matildita, AgBiS_2).

En la planta de Velarde, algunas mejoras consistieron, en: para la trituración se utilizaba dos circuitos; la primera etapa, con trituradora de mandíbulas, en circuito abierto; y la segunda, con trituradora de cono, en circuito cerrado, con una criba vibratoria. La molienda, también en dos etapas: en la primera, con molinos de barras, en circuito abierto; y la segunda, con molinos de bolas, en circuito cerrado, con clasificadores hidráulicos (de tornillo, de rastras o ciclones, según el paso del tiempo). Esta variante tomaba en cuenta el grado de liberación entre los minerales de valor y la caja, con el objetivo de elevar la recuperación. Para la gravimetría, se probaron todas las variantes conocidas. En Velarde, se eliminó, con el paso de los años, los jigs y se instalaron más mesas. De todas maneras, de los jigs (tipo Harz o Denver Mineral u otro), se lograban concentrados y colas finales; mientras que los mixtos se remolían y se los clasificaba, con un clasificador Fahrenwald (de 5 cámaras). Los granos gruesos y finos se trataban en mesas (granceras, las Wilfley; y lamerás, las Holmann) y los muy finos pasaban a la planta de flotación directa de la casiterita empleando los sulfosuccinatos (Aerosol 22) que se introdujo, allá por los años 1968. Para los preconcentrados de las mesas se recurría a las variantes ya descritas. En Velarde, se mejoró la separación sólido-líquido (filtración, desagüe, secado de los concentrados) y se implementaron laboratorios; tanto para el análisis químico, como para efectuar pruebas metalúrgicas de laboratorio. Esta planta que tenía una capacidad de tratamiento de mil toneladas por día, de la mena que era extraída de las minas Pailaviri, Caracoles y otras pertenecientes a la “Em-

presa Minera Unificada del Cerro de Potosí”, de la COMIBOL.

El año 1975, se inauguró la planta de preconcentración de Pailaviri. En la misma, luego de una trituración en etapas (y que reemplazó a la que se efectuaba en Velarde), se concentraba en jigs Denver Mineral. Los preconcentrados así obtenidos se enviaban a la planta de volatilización de La Palca; las colas se botaban directamente al desmonte (actual pasivo ambiental cerca del río Huayna Mayu). Los mixtos se remolían y se procedía a la flotación de piritas para, en una segunda etapa, flotar la casiterita. La producción de la empresa subió a 1.500 toneladas diariamente y daba materiales para la volatilización (preconcentrados con leyes entre 3 y 6% Sn) instalada a unos 15 km de la ciudad, en La Palca.

Hacia fines de los 70, y comienzos de los 80, del siglo pasado, una forma de minería hidráulica fue practicada, intensamente, en la falda Este y sobre todo Norte del Cerro Rico: el *suqueo*; para recuperar granos de casiterita. Se colocaban tanques de agua en lugares altos y mediante mangueras se “lavaban” las paredes del Cerro. De esta manera se formaba una turbia muy espesa que luego empezaba a deslizarse por canaletas naturales, de hasta 70 metros de longitud, por un metro de ancho y hasta dos de altura. Cada 5-10 metros se colocaban trancas de madera para que los minerales pesados se quedaran detenidos y sobrepasaran los livianos. El trabajo era discontinuo; ya que, de tiempo en tiempo se paraba el trabajo para sacar los preconcentrados, que ya afuera de la canaleta eran retratados mediante *maritates*. Finalmente, el concentrado se secaba al sol y todavía se procedía a efectuar el *palleo* para mejorar la ley del concentrado. Por lo demás, era un trabajo muy sacrificado.

Este tipo de trabajo minero y de procesamiento, si bien no se practicaba directamente en la Ribera o en el río del mismo nombre, pero los restos sí iban a parar a los afluentes de la misma, y las colas (unos 20 millones de toneladas), eran depositadas en la quebrada de Santiago, muy cerca del barrio de San Benito.

3.4. Los otros industriales mineros dedicados al estaño

Los procesos de tratamiento, implementados por los mineros chicos y cooperativistas, eran variables, en dependencia de la ley de cabeza, del grado de entrecrecimiento o de liberación, de la existencia de agua. Para los granos gruesamente entrecrecidos, la preconcentración se la realizaba con métodos gravimétricos, en canaletas y en jigs. Cuando los granos se presentaban finamente entrecrecidos, entonces la concentración gravimétrica se la llevaba a cabo en mesas. En muchos casos, se combinaba la gravimetría con la flotación; en otros, la gravimetría-flotación-separación magnética; finalmente, se combinó la gravimetría con la separación magnética.

Por los años 60 y 70, del siglo pasado, por lo menos en los ingenios de pequeña capacidad (20-200 toneladas) pertenecientes a mineros chicos y algunas cooperativas, se generalizó el flujograma en plantas de pisos: una tolva, con rieles, previa a la trituración con trituradoras de mandíbulas. Even-

tualmente, para la clasificación en seco se usaban las cribas vibratorias, donde el + o muy grueso se recirculaba, y el – ó menos grueso se trataba en jigs; obteniéndose tres productos: un concentrado de casiterita, colas finales y un mixto. Luego, se procedía a la molienda de los mixtos, en un molino de bolas que contaba con un trommel; los gruesos se botaban, ya que eran pedazos de madera, restos de la voladura (fulminantes, guías, brocas, madera, etc.), y se clasificaban con clasificadores hidráulicos (de tornillo, de rastras o tipo Fahrenwald); los gruesos y finos se trataban en mesas y los muy finos en buddles. De ambos, podían obtenerse concentrados; los mixtos, se remolían y recirculaban; y las colas, se botaban (a estanque de colas o directamente al río de la Ribera y afluentes), previo espesamiento para recuperar el agua. Si las menas tenían altos porcentajes de pirita, sobre una carretilla se procedía a flotarlos o se lo hacía en celdas de flotación (el producto flotante se espesaba como en el caso de las colas y; el no flotante se filtraba y secaba). Si ese concentrado contenía muchos óxidos, se procedía a la separación con un magneto (el magnético, eran las colas de óxidos de hierro; y el no magnético, el concentrado final de estaño). Los concentrados obtenidos en los jigs se secaban al sol u hornos y embolsaban (mezclando con el concentrado de mesas y buddles), para su exportación o transporte a las fundidoras. Estas instalaciones procesadoras, y de acuerdo a la carencia de agua, contaban con espesadores para recircular el líquido elemento. Los encargados de las plantas, carentes de formación, no tomaban en cuenta la recuperación; y las plantas tenían este índice en valores muy bajos, porque lo importante para ellos era obtener un concentrado, de ley lo más elevada. En las mejores instalaciones, la recuperación llegaba a 60%; lo que significaba que el 40% del estaño de las colas se lo botaba al río de la Ribera. Como en la colonia, cuando todas las colas y lamas de la amalgamación; o sea junto al mercurio, fueron a parar a la Ribera.

Las pequeñas instalaciones de los mineros chicos y cooperativistas, trataban pequeños tonelajes de menas estañíferas, hasta 1985, mediante la concentración gravimétrica. Se repitieron los flujogramas sencillos que ya estaban en boga antes de la nacionalización, y que funcionaban en terrenos acondicionados para el efecto o directamente en las canchaminas. Para la trituración, los *quimbaletes* (que sufrieron pequeñas modificaciones). Para la clasificación, los cernidores (de construcción local: un marco de madera y la tela). Para la concentración de los granos gruesos, fueron muy útiles los *jiggers* y *maritates*, empleándose agua para la separación. En algunas instalaciones, se concentraba con ayuda de canaletas o *champalavadores*, por donde la turbia circulaba y se procedía a la separación de granos pesados de los livianos; muy pocos ingenios tenían mesas granceras y lamerás. Los materiales muy finos o lamosos, como resultado de todos los procesos precedentes, se terminaban de concentrar en los buddles y *furmochinas*.

En un típico ingenio, para el tratamiento de *llampos* de estaño se procedía a mezclar la mena (material de alimentación) con agua, y se la clasificaba en una zaranda (criba o cedazo). El material grueso, se trituraba en un trapiche con *quimbaletes*; y este material junto con el fino de la zaranda

pasaba por un deslamador. Los granos gruesos eran tratados en un *jigger*, de donde se obtenían: mixtos, que también se volvían a triturar (para mejor liberación) y un preconcentrado, que se trataba en un *maritate*. De éste ya se obtenía un concentrado final; y los mixtos, se procesaban en un *cham-palavador*, donde se obtenían concentrados; y los mixtos (cada vez más finos), se procesaban en dos etapas con *fur-mochinas*. Así se obtenían concentrados, y las colas se almacenaban en el depósito de relaves [14].

4. La Era de los Complejos Sulfurosos y la Plata (1985 al presente)

Desde 1986, se han explotado menas de zinc (esfalerita o blenda, wurtzita) con algo de plata y, sin duda, de la producción boliviana de 150 mil toneladas/año, buena parte sale de las entrañas de la Montaña de Plata; contribuyendo al desarrollo del país, por la generación de divisas.

Los cooperativistas, trabajan las vetas del Cerro siguiendo su curso, en muchos casos todavía a golpe de combo sobre el barreno; otros poseen perforadoras accionadas con aire comprimido; para la voladura utilizan el Anfo; el transporte al exterior se hace empleando carros metaleros accionados por dos personas; para la iluminación existen dos opciones: ya sea el uso de lámparas de carburo o las de batería. Nadie duda que este trabajo empírico está destruyendo este yacimiento; aunque ha habido intentos de mejorar los métodos de explotación, se siguen empleando las técnicas medievales, practicadas en la colonia, salvo los pequeños adelantos mencionados.

Las Cooperativas, venden el producto de su trabajo diario a intermediarios, quienes a su vez los venden a los dueños de plantas de flotación, y éstos exportan los concentrados de zinc-plata o plomo-plata, vía Chile, mediante camiones o usando el tren. Allá en el puerto son embarcados en buques, a distintos países, donde son fundidos.

Entonces, el objeto tecnológico de los operadores de instalaciones encargados de la separación mediante flotación consiste en lo siguiente: la esfalerita se quiere obtener en la espuma; para esto es necesario hacer hidrófoba su superficie, mediante un reactivo orgánico llamado colector (en Potosí se emplea de preferencia los xantatos y ditiofosfatos). Esta adsorción del colector es muy selectiva e influida por el valor del pH alcalino (regulado con lechada de cal) de la turbia. La presencia de otros iones y los reactivos que efectúan esta influencia se denominan modificadores. La esfalerita hidrofobada puede adherirse a burbujas de aire (para mantenerlas estable se utilizan los espumantes) y flotar (producto flotante). En los productos no flotantes (en este caso las colas), sus superficies permanecen hidrófilas y por este motivo permanecen en la turbia en suspensión.

Si en el material de alimentación junto a la esfalerita existe también galena, con algo de minerales de plata, entonces se tiene que recuperar todos los minerales de valor o de importancia económica. Primero, se flota la galena (en pH neutro o ligeramente alcalino, regulado con carbonato de sodio)

con xantatos o ditiofosfatos como colectores y se debe evitar la adsorción del mismo en la esfalerita, empleando un depresor (sulfato de zinc mezclado con cianuro). Una vez flotada la galena, se debe activar la esfalerita con la ayuda de un activador (sulfato de cobre), y regulando el pH (a básico con cal) se flota empleando los colectores de las familias de xantatos, ditiofosfatos u otros. En ambos casos se emplea un espumante. La plata, se flota conjuntamente la galena; y en menor proporción, con la esfalerita.

5. Notas Sobre el Problema Ambiental

Si bien la actividad minera del Cerro Rico ha sido prácticamente sostenida, no lo fue el cuidado del medio ambiente. Poco o nada se hizo al respecto en la colonia y muy poco en la república.

5.1. La Contaminación en la Colonia

Podemos asumir que, todas las formas de contaminación (del aire, del agua, de los suelos y del ruido), nacieron primero en Potosí y sus alrededores, a partir de 1545. Tanto los procesos de la explotación, del tratamiento y de la fundición condujeron al deterioro del medio ambiente; afectaron la biodiversidad y la propia salud de los trabajadores y la de sus pobladores.

La contaminación del aire, causada por la actividad minera, se debió a la fundición, la explotación minera y al tratamiento; además, la falta de sanidad ambiental era causada por los propios estantes potosinos.

Veamos algunos detalles: en la fundición, la contaminación comenzó exactamente el día que operó la primera *wayra*, fundiendo las menas del Cerro Rico, para obtener barras o rieles. El efecto contaminante de la fundición se refleja en el número de hornos. Un conocido industrial minero, reporta que antes de 1582, por lo menos en el Cerro Rico de Potosí y otros lugares, ardieron unas seis mil cuatrocientas noventa y siete hornazas [16].

Recalamos, que en abril de 1545, se marca el inicio de este tipo de contaminación. Este efecto (consistente en arrojar a la atmósfera gases de combustión, óxidos de azufre y otros gases nocivos), se debía al gran número de hornos en funcionamiento, a medida que aumentaba la explotación de menas muy ricas; para ir disminuyendo, cuando la ley de cabeza disminuyó, al extremo que, como proceso principal, dejó de ser el más importante. La gente encargada de obtener barras o lingotes de plata estaba expuesta a muchos factores de contaminación ambiental y de daño a la salud, por la inhalación de gases tóxicos, las quemaduras debido al manipuleo de las escorias y de la plata fundida, la inhalación de polvos durante el carguío de los hornos previo a la fundición y otros menores [17].

En un principio cuando se explotaba a tajo abierto, al barretar se originaba polvo. Así nació la contaminación ambiental en muy pequeña escala, y surgieron también los primeros problemas de salud de los *mitayos* y *mingas*. A partir de 1556, los tajos dieron paso a labores formales subterráneas. El barreteado, y otras formas de avance; así como el botado

de colas a los desmontes (pasivos ambientales muy peligrosos), contribuyó a la contaminación del aire. Un hecho tecnológico notable fue la utilización de la pólvora; y esto, con seguridad, aumentó los riesgos y el recrudecimiento de las enfermedades laborales (silicosis, neumoconiosis, tuberculosis, asma, etc.) [17], y elevó la contaminación ambiental, por la gran cantidad de polvo originado en las explosiones. No sólo los obreros ligados a la minería complotaban contra los ambientes de trabajo; también los ancianos, quienes fuera de la edad de la *mita*, trabajaban en labores poco pesadas pero contaminadoras, como por ejemplo: realizando la selección de los minerales y separándolos de la caja, con ayuda de combos en las canchaminas, y botando las colas al desmonte, ubicado al pie de ellas.

En el beneficio por amalgamación, más propiamente en la trituración-molienda-clasificación de las menas, se originaba mucho polvo, porque se realizaba estas operaciones en seco y al aire libre (durante el resto del siglo XVI). En los siglos siguientes, estas operaciones empezaron a efectuarse en ambientes cerrados y, el término “mata gentes”, para nombrar estos locales, no era solamente una alusión humorística.

Si las menas contenían sulfosales, se procedía a efectuar la tostación, con el objeto de eliminar el azufre como dióxido, que es un fuerte contaminante del medio ambiente (responsable de la lluvia ácida) y principalmente de la salud. La tostación se la realizaba en hornos o ramadas rústicas, y los gases sulfurosos iban o eran evacuados directamente a la atmósfera.

El mercurio y la plata (la pella), se separaban en forma mecánica empleando telas para exprimirla y así surgían las piñas de plata. Como éstas contenían algo de mercurio, se utilizaba otra forma de separación que consistía en llevar la piña a la desazogadera, una especie de horno donde se la volatilizaba y se obtenía gases de mercurio, que al ser enfriados se condensaban en metal líquido que era recirculado. A pesar de los cuidados que se ponía en sellar los hornos, es comprensible imaginarse fugas de gas mercurial, que daba lugar a males incurables. El hidrargirismo o envenenamiento por el mercurio no podemos descartarlo [17].

Para el caso potosino, apuntamos cuatro fuentes de contaminación del agua: la proveniente de las minas, la debida al consumo doméstico, la que se tiene como resultado del procesamiento, y por efecto de la gran catástrofe hidráulica de la laguna de San Ildefonso.

Las aguas de las minas del Cerro, eran y son denominadas “aguas de *copajira*”. Estas, contenían sales disueltas: de cobre, hierro, etc., con un valor de pH ácido y son vertidas al río Sucu Mayu (que se junta con el río de la Ribera). Su origen se debe a fenómenos naturales.

Una parte (un millón de toneladas) del agua almacenada se empleaba en el uso doméstico: para la preparación de las comidas, el aseo personal y el lavado de la ropa. Estas tres fuentes contaminantes no fueron ni sospechadas, en esos tiempos. Poco sabemos de las prácticas de aseo corporal de

indígenas y españoles. Los rebalses de las lagunas servían para el lavado de la vestimenta y hábitos religiosos (especialmente en los meses de enero hasta abril) [18]. Los desechos de la limpieza corporal y del lavado de la ropa, eran vertidos directamente a la calle o en los patios de las viviendas, junto con orines y aguas servidas.

Sin exageración podemos afirmar que, con el beneficio de la plata mediante azogue, se aumentó la contaminación de las aguas, de varias maneras: por el vertido de las colas del tratamiento (se trata de sólidos en suspensión, muy perjudiciales) y por el derrame de mercurio junto con otros compuestos químicos. Ambos, son responsables de la contaminación de la cuenca del Pilcomayo.

El domingo 15 de marzo de 1626, la reserva de agua de la laguna de San Ildefonso (a 4.410 metros de altura), se derramó sobre la Villa Imperial. Podemos hacer referencia al efecto contaminante de esta desgracia. El mercurio en existencia y distribuido en casi una década, para los años 1617-1626, hacía un total de 1.897 toneladas, para el primero; y 1.862 toneladas, para el último. Obtenemos de este dato, el promedio anual de 207 toneladas; lo que nos da un consumo diario de más de media tonelada. Si tomamos 252 toneladas distribuidas en el año de la catástrofe, consiguientemente el consumo diario subiría a 690 kilogramos.

Como no sabemos exactamente cuántas eran las instalaciones amalgamadoras y tampoco cuántos propietarios o administradores fueron afectados por el desastre, nos contentamos sólo con especular sobre la cantidad de azogue en los cajones, tinas y depósitos (mercurio de reserva), el día de la riada. Se trataría de 19.3 toneladas del metal líquido. No cabe duda que la cantidad de azogue fue altísima (concentración, 48 mg/l Hg), considerando la capacidad de almacenamiento de la laguna afectada, de 400 mil toneladas de agua que se derramó en dos horas, con un caudal de 60 m³/s. La cantidad de azogue perdido parece alta, frente a la cantidad de plata producida; pero no olvidemos que las pérdidas de mercurio en la amalgamación y por fuga en las desazogaderas, ya contaminaban cada día el medio ambiente potosino: el río de la Ribera y sus alrededores. El día de la gran catástrofe fueron arrastradas por el agua: mercurio, junto a otros insumos químicos; casas, ranchos, ruedas hidráulicas, ejes, basura, etc.

Este tipo de alteración medio ambiental, puede ser calificada hoy en día, como uno de los “desastres ecológicos”, del período colonial; y uno de los mayores, de todos los tiempos.

Debido a la contaminación de los suelos o de la tierra, existen serias amenazas para la agricultura, como: la gran pérdida de suelos o de la cobertura superficial, dando lugar a su erosión y desertización. Debemos mencionar el fenómeno de la lluvia ácida. Esta, si hubo, como resultado del empleo de especies nativas existentes en las faldas del Cerro y sus alrededores, como combustible (ellas fueron: la kehuíña, *polilepsis incana*; el ichu, *stipa pungens* o paja brava; la tola, *azorella yareta* o *azorella glabra*; y, yaretila, *pyenophyllum*); y como ya lo hemos visto, fueron utilizadas en distintas

épocas y para distintas fases del procesamiento (ejemplo: la fundición y tostación). Debido a los trabajos de explotación fue tan trabajada la cumbre y sus faldas, que por este motivo desapareció, sobre todo, su flora y fauna (la biodiversidad); pues, la fauna pudo ser espantada, ya que hoy en día todavía se observa la presencia de vizcachas; y existen asimismo, algunas formas o especies de flora.

Unas palabras sobre el lavado, que se efectuaba en la amalgamación. Esta etapa, desde el punto de vista ecológico tuvo y tiene sus consecuencias. Las lamas o materiales finísimos en suspensión, impermeabilizan los terrenos y ocasionaban problemas al agro, porque los convierten en suelos de mala calidad.

Respecto a la gestión urbana: la basura y el saneamiento básico, podemos comentar que eran muchos los desórdenes que presentaba el poblado de Potosí, en sus inicios. La basura, era arrojada en las noches a las angostas calles, y eventualmente recogida por los indígenas de trajines; para de igual manera volverlas a echar en las afueras de la Villa. Lo propio sucedía con las aguas del lavado corporal y de la ropa, que era arrojada sin contemplación por los vecinos, desde sus ventanas y puertas, directamente a las calles y callejones; para inmediatamente juntarse con los excrementos de cuanto animal circulaba por ellas. Respecto al saneamiento, diremos que la falta de alcantarillado o cuando se lo instaló, las aguas servidas, tarde o temprano, iban a parar al río de la Ribera.

Unas pocas palabras para referirnos a la contaminación sonora. La mano de obra coaccionada constituía un problema en la vida cotidiana del poblado y motivo de preocupación para su Cabildo; ya que ella era proclive e iniciadora de la contaminación sonora (ruido), porque los fines de semana, los que estaban de turno o *mita* (especialmente los que trabajaban en los ingenios, transporte, servicio, etc.), en su tiempo libre se la pasaban bebiendo y peleando; y los otros, que estaban en su turno de descanso, también tomaban a toda hora y estaban causando siempre disturbios. Por este motivo, en 1552, existía la prohibición de beber o “ley seca”, para los naturales; salvo el domingo que podían hacerlo pero sin acompañamiento de sus tambores.

No se puede descartar las dolencias de oído, en los *mortiris*, por el ruido ocasionado por los mazos-almadanetas de cobre o hierro de las instalaciones de pisones, al golpear los pedazos de mineral contra el morterado. El ruido era general en todas las máquinas de reducción del tamaño de las menas. Mayor contaminación acústica, sin duda alguna se presentaba dentro de las minas, debido al barreteado, la voladura con la pólvora; por dar, dos ejemplos.

5.2. Aumento del Deterioro Medio Ambiental en la República

Lamentablemente, todas las formas de contaminación continuaron y se agravaron, desde 1825. Aquí nos concretaremos a indicar lo que ocurre en el ámbito minero-metalúrgico. Respecto a la del aire, podemos aseverar que, a fines del siglo XIX, en Potosí se instalaron varios hornos para

fundir los concentrados de estaño. En el ingenio Velarde, se probó esta nueva tecnología; paralelamente, se empleaba la tostación clorurante, para las menas argentíferas.

Por los años setenta, del siglo pasado, se instalaron dos hornos de volatilización: uno, perteneciente a la familia Careaga (en plena ciudad); y el otro, el de La Palca (fuera de la ciudad), de COMIBOL. Muchas veces la nube de gases de emanación, de estas volatilizadoras era tan alta, que la ciudad presentaba un alto grado de contaminación atmosférica; que una vez que soplaban los vientos, era disipada. En todos los casos presentados, la población civil reclamaba pidiendo la suspensión de trabajos en estas instalaciones.

Por otro lado, en la etapa de la trituración-clasificación, efectuadas en seco, se produjo y produce mucho polvo durante el carguío y manipuleo de las menas. Consiguientemente, la atmósfera es atacada sin que existan disposiciones reguladoras (como el uso de blindajes o aspiradores), para el funcionamiento de este tipo de instalaciones.

En las labores del Cerro Rico se incrementó este tipo de alteración del medio cuando se introdujo la voladura empleando para el efecto la dinamita; y años más tarde, el Anfo (nitrato de amonio y fuel oil). La producción de polvos con contenidos de sílice acrecentó la silicosis, en los trabajadores y cooperativistas. También, figura la tuberculosis, como enfermedad laboral de primera magnitud por muchos años; pese al esfuerzo de las distintas empresas, como: la de Soux, la de Hochschild y más tarde de la COMIBOL, que a su turno operaron un sanatorio para la cura de los afectados y de sus familiares.

La contaminación del agua, aumentó; especialmente en el pasado siglo, cuando varias plantas trataban menas estañíferas mediante gravimetría donde el medio usado para la concentración en canaletas, jigs (*maritates* y *jiggers*), mesas y buddles es el acuoso. Las colas de este tipo de enriquecimiento iban a parar a los desmontes (pasivos ambientales), en el caso de la EMUCP dependiente de COMIBOL; o eran vertidos directamente al río de la Ribera, afluente del río Pilcomayo, desde todas las plantas gravimétricas (su número, mayor a una veintena, siempre ha fluctuado con el paso del tiempo y de los precios vigentes para el estaño), sin excepción alguna.

La contaminación acuosa, pasó a ser un tema internacional en las últimas dos décadas. El responsable de ella era el proceso de flotación, implementado para flotar los sulfuros de zinc-plomo-plata. Unas treinta plantas de tratamiento, que emplean la técnica de flotación de menas sulfurosas, introducida a finales del siglo XIX (para flotar piritas y depresar la casiterita; o sea, un proceso de flotación inverso), funcionan actualmente produciendo concentrados de zinc-plata y en menor escala plomo-plata. La técnica, en muchas plantas, consiste en una flotación selectiva activando el plomo y depresando la esfalerita. En otras instalaciones se flota directamente los sulfuros de zinc, empleando como colectores: xantatos o ditiofosfatos; como activador, se añade una mezcla de sulfatos de cobre y zinc; para depresar la pirita se adiciona cianuro de potasio o de sodio; y, el pH

10-12 de la flotación es regulado con cal. Las colas de la flotación, mayoritariamente, se echan a un canal ex-profesamente construido para ello; o minoritariamente, se retratan en mesas de sacudimiento para recuperar la casite-rita.

Líneas arriba, decíamos que el mayor desastre ecológico en el coloniaje, fue el día de la gran riada, en 1626, y sólo comparable con la casi actual contaminación de la Ribera; debido, primero, al tratamiento mediante concentración gravimétrica (especialmente, entre 1960-1985) de las menas estañíferas; y, años más tarde (1986 al presente), mediante la flotación de sulfuros de plata-zinc-plomo (acompañada por el uso de muchos reactivos químicos, como: los colectores, espumantes, activadores, depresores y reguladores del pH; algunos de ellos, muy tóxicos).

La segunda parte de ese desastre ecológico, la medimos en 1991; vale decir, los efectos de los contaminantes, resultado de la flotación, al río de la Ribera. En ese entonces, 26 plantas de procesamiento se encontraban ubicadas a lo largo o muy cerca de ese río que atraviesa la ciudad, de Este a Oeste. La capacidad total estimada de tratamiento fue de 1.200 a 1.500 t/d (432 a 540 mil t/año), fluctuando ella para cada planta entre 6-300 t/d. El requerimiento de agua podemos asumirlo en unas diez mil t/d, de las cuales un 40% debería ser agua fresca proveniente del sistema de lagunas. Respecto al régimen de reactivos empleados en la flotación, se tomó de los consignados por los operadores; descartándose aquellos valores muy altos, que no coincidían con los usuales empleados en otras instalaciones industriales.

El consumo de reactivos (según el caso), en gramos por tonelada, fueron (en 1991): Na_2CO_3 , 180 (regulador de pH); cal, 3.500-10.000 (regulador de pH); ZnSO_4 , 60-300 (depresor esfalerita); NaCN; 10-90 (depresor esfalerita-pirita); LET-LSB, 20 (depresor esfalerita); SF-113, 20-30 (colector galena); Z-6, 40 (colector galena); Z-11, 90-200 (colector galena); AF-242, 100 (colector plata); $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 100-1.000 (activador esfalerita); Z-6, 40-70 (colector esfalerita); Z-11, 90-200 (colector esfalerita); Z-200, 15 (colector esfalerita); DF-250, 25 (espumante); DF-1012, 25-35 (espumante); C-7, 20-30 (espumante) y MIBC, 10-30 (espumante) [19].

Es bueno recordar que su concentración fue relativamente pequeña (salvo, la cal) y que las aguas de flotación, en la mayoría de las instalaciones, se recirculaba (aprox. 60%). Lo que sí constituyó un peligro de contaminación fueron las colas, que en todos los casos fueron arrojados al río de la Ribera. De los balances metalúrgicos se dedujo que, un 66-84% del material tratado fueron colas, tomando un promedio de 75%, el volumen de las arrojadas por lo menos fue de unas 364 mil t/año, y considerando que la molienda se la efectuaba a <75 micrones (200 mallas). Los granos gruesos fueron arrastrados río abajo y se depositaron en función de sus tamaños de grano; los muy finos pudieron ser transportados a distancias muy largas [19].

Una medida de mitigación, uno de los pocos ejemplos de aplicación de la Ley 1333, consiste en que las turbias, conteniendo las colas del proceso de flotación (en el primer se-

mestre de este año se produjeron unas 3.500 toneladas diarias de desechos), son transportadas por un canal cerrado y son almacenadas en los diques de colas de Laguna Pampa I y II. A pesar de ello, ya son varias las veces que este conducto se ha taponeado, ocasionando rebalses que afectan a varias calles de la ciudad por la presencia de material muy fino que, cuando se seca (por la circulación de motorizados) ocasiona molestias a la población. Al presente, el dique de colas II ya está a tope y se espera el inicio de actividades de otro (a inaugurarse en el curso de este 2007), localizado en San Antonio, para mayor capacidad y se prevé que soporte hasta 5 años de operación. Demandó una inversión de 5 millones de dólares, cubiertos por el Programa Ambiental Potosí (PAP) con apoyo de la Cooperación Financiera Alemana (KFW), con 3.2 millones y de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Potosí S.A. (EPSSP), constituida por la Asociación de Ingenios de Potosí y la Federación de Cooperativas de Potosí, con 1.8 millones.

Mucho se especula, por parte de la población, sobre la contaminación de las aguas por la utilización del proceso de cianuración de la plata. Podemos asegurar que, al momento, ninguna de las dos plantas (PLAHIPO y COMCO) de cianuración están operando; y que no vertieron sus aguas a los ríos cercanos, además, la cianuración se efectúa en $\text{pH} > 11$.

La minería del Cerro Rico tiene su aporte en la alteración del medio acuoso, ya que las aguas de *copajira*, conteniendo sales y con valores de pH muy ácidos, salen de sus bocaminas; especialmente del Real Socavón. Esto no libera a las muchas bocaminas que hacen lo propio, generalmente en la época de lluvias. Muy comprometedor para este tipo de contaminación fue la presencia de cientos de desmontes, conteniendo millones de toneladas de colas, de la explotación de la plata, del estaño y de los sulfuros. Muchos de estos desmontes se retiraron en diversas épocas, para su retratamiento; hace pocos años, COMCO compró muchos millones de toneladas a dueños privados y cooperativistas, para recuperar la plata mediante la lixiviación de los desmontes estañíferos. Actualmente, el proyecto San Bartolomé quiere hacer lo mismo retratando los materiales sueltos o "pallacos", que han cuantificado en millones de toneladas. Por ejemplo, el *pallaco* denominado "El Diablo", se trata de unos 20 millones de toneladas de colas, de lo que fue el *suqueo*; un método muy primitivo de minería hidráulica, que consistía en lanzar chorros de agua a presión sobre la pared Norte del Cerro; una vez formada la turbia, ésta era tratada mediante canaletas y así se obtenían preconcentrados, que eran retratados mediante *maritates*, previa reducción de los tamaños del grano. Las colas, de esta operación, se almacenaron por años en la quebrada de Santiago y, en alguna ocasión crearon pánico en la población del barrio de San Benito, por el peligro de desborde de ellas. El agua empleada para esta concentración fue a parar, también, al río Pilcomayo.

Ni qué decir de la contaminación de los suelos, al haberse echado durante mucho tiempo una gran parte de las colas de los diversos procesamientos empleados, a los ríos y éstos durante su viaje hacia el Océano Atlántico, van depositando

materiales lamosos (anteriormente, de la concentración gravimétrica; o recientemente, de la flotación) que han ido alterando la composición de los suelos aledaños al paso de las aguas. El mayor daño sin duda alguna, constituyen los diversos desmontes cercanos a las grandes instalaciones, como los de: Pailaviri, San Miguel, Velarde, etc., que están ubicados cerca de ríos, caminos y poblados.

Unas pocas palabras para referirnos a la contaminación sonora, cuando en las instalaciones de procesamiento rugen los motores de camiones, retroexcavadoras, trituradoras, molinos, clasificadores y cintas; dentro de las minas, el ruido se produce por el uso de perforadoras, empleadas para el arranque, y durante la voladura. Este proceso ha aumentado la emisión de polvo, y la falta de ventilación en las labores de los cooperativistas agrava las condiciones de trabajo y la salud de los trabajadores mineros.

No todos los tipos de contaminación son exclusivos de la industria minera; pues la población civil también tiene su cuota parte de responsabilidad. Aquí, debemos destacar el aumento de emisiones sonoras: cuando se emplean parlantes para todo tipo de campañas y propaganda (electoral, cultural, deportiva, etc.); el mayor emisor de ruido, sin duda, es el transporte ciudadano a través del uso desmesurado de la bocina; y, cuando se realizan actividades sociales y manifestaciones de toda clase (uso desmedido de petardos, dinamitazos y de conjuntos electrónicos).

La población civil (en buena parte ligada a los mineros del cerro), sigue contaminando los recursos hídricos, haciendo un uso indiscriminado del agua en el lavado de la ropa y enseres culinarios; así como, en el lavado de automóviles. El uso de detergentes, jabones, lejías, etc., que terminan siempre en los ríos, de: la Ribera, Sucu Mayu, Huayna Mayu y otros. Paralelamente, la contaminación de los suelos ha crecido desde que se han improvisado botaderos para los residuos sólidos y escombros de construcción; el uso de grandes cantidades de plástico y papel, en envases de alimentos, refrescos y cerveza, ha crecido exponencialmente. Todos los ingresos a la ciudad muestran este tipo de contaminación.

Bibliografía

1. GIODA, A.; SERRANO, C. "La plata del Perú". En: *Investigación y Ciencia*. 2000 p. 56-61..
2. COBB, G. *Potosí y Huancavelica. Bases económicas del Perú. 1545-1640*. La Paz: Litografías e Imprentas Unidas. 1977.
3. PENTLAND, J. B. *Informe sobre Bolivia 1826*. Potosí: Editorial Potosí, 1975.
4. CAPRILES, O. *Historia de la minería boliviana*. La Paz: Banco Minero de Bolivia, 1977.
5. LOFSTROM, W. *Dámaso de Uriburu, un empresario minero de principios del siglo XIX en Bolivia*. La Paz: Asociación Nacional de Mineros Medianos, 1982.
6. ARAMAYO, I. *Potosí. Historia de sus minas. Descripción geológica de ellas. Su presente estado y perspectiva futura*. Potosí: Imprenta Municipal, 1874.
7. *Documentos referentes a la Compañía del Real Socavón*. Potosí: Imprenta Porvenir, 1885.
8. PLATT, T. *Historias unidas, memorias escindidas: las empresas mineras de los hermanos Ortiz y la construcción de las élites nacionales. Salta y Potosí, 1800-1880*. Sucre: Universidad Andina Simón Bolívar, 1988.
9. *Empresa del Real Socavón de Potosí*. Potosí: Imprenta Republicana.
10. RONCAL, E. *Historia de la minería boliviana*. La Paz: Editorial Focet, 1984.
11. *Sociedad Minera "G. Schmidt y C^ª."*. Potosí: Tipografía del Progreso Arrendada, 1881.
12. SERRANO, C. "Tecnología de vanguardia en la Compañía Minera de Potosí S. A. Ing. Luis Soux, su promotor". *Revista Metalúrgica*. Universidad Técnica de Oruro. Oruro: N° 18, p. 7-17, 1998.
13. WASZKIS, H. "Hochschild, Moritz (Mauricio)". En: *Diccionario Histórico de Bolivia 2002*. Vol. 1, p. 1039-1040.
14. HERMOSA, W. *Breve historia de la minería boliviana*. La Paz/Cochabamba: Editorial Los Amigos del Libro, 1979.
15. SERRANO, C. "Problemas de contaminación y salud en la época colonial". *De Re Metallica* 5, No 12, p. 73-85. 2005.
16. CAPOCHE L. *Relación general de la Villa Imperial de Potosí*. Madrid: Ediciones Atlas, 1959.
17. SERRANO, C. "Enfermedades profesionales en la Colonia". *Revista Metalúrgica*. Universidad Técnica de Oruro. Oruro: N° 26, p. 5-13, 2005.
18. ARZANS DE ORSÚA Y VELA, B. *Historia de la Villa Imperial*. Providence: Brown University Press, 1965.
19. SERRANO, C. "Potosí: agua y contaminación ambiental". *Revista de Ingeniería Sanitaria*. N° 8, p. 3-10, 1994.