

# LA CIENCIA DE MATERIALES, LA METALURGIA Y LA ENERGÍA EN EL DESARROLLO DEL PAÍS

Antonio Salas C., René Antezana G., Jorge Tejerina L., Napoleón Jacinto E., Carlos Velasco H., Edgar Venegas L., Fausto Balderrama F., Cinda Beltrán O., Luis Siles T., Gerardo Zamora E.

Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Técnica de Oruro

## RESUMEN

*El presente trabajo ha sido presentado al Primer Simposio Internacional de Ingeniería, realizado para conmemorar el centenario de fundación de la Facultad Nacional de Ingeniería, en julio de 2006, por los docentes de la Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Técnica de Oruro.*

*En ese fascículo, se hace un análisis del sector minero-metalúrgico, siderúrgico, petroquímico, energético y materiales bolivianos desde diversos ángulos como el económico, el empleo, la producción, y estructura actual del sector y se analizan las causas por las cuales no se reactiva la producción nacional, desde la influencia que tiene el riesgo país para atraer inversiones, hasta las fallas de los últimos modelos adoptados.*

*En base a este análisis se formula una propuesta estratégica para salir de la crisis considerando las potencialidades y oportunidades que se disponen en cada una de las etapas del sector productivo, aplicada a los principales recursos naturales no renovables dentro de un modelo de desarrollo sostenible.*

## PRIMERA PARTE

### 1. INTRODUCCIÓN

Bolivia, tiene recursos naturales renovables y no renovables numerosos y variados; aún antes de su fundación ha basado el desarrollo de su economía en la explotación de recursos naturales, principalmente minerales, y alrededor de este modelo giró toda la dinámica económica, social y política del país en todo el transcurso de vida republicana.

La actividad minera se desarrolló principalmente en la zona occidental, donde se establecieron importantes culturas como la aymara y quechua hace más de mil años. Desde la época de la colonia en que comenzó la explotación del Cerro Rico de Potosí, fabuloso yacimiento de plata aún en explotación, también es reconocido por sus minas de estaño, como el filón estañífero La Salvadora, en la localidad de Llallagua, al norte de la ciudad de Potosí, el más rico descubierto hasta ahora en el mundo.

No obstante, a pesar de todas estas ventajas, Bolivia permanece como uno de los países más pobres de América del Sur. En ningún

lado esta paradoja está mejor expresada que en el sector minero del país que, a pesar de sus recursos considerables y una larga tradición minera, atraviesa una profunda crisis, cuyas causas podrían ser:

- Ausencia de una política minera moderna.
- Agotamiento de reservas conocidas y notoria falencia de exploración geológica
- Generación de impactos ambientales y sociales
- Inversión de grandes recursos financieros con resultados pobres en desarrollo y sostenibilidad
- Enlace a problemas ambientales globales como la pérdida de bio-diversidad, calentamiento global, etc.

Otro aspecto importante a considerar es la ausencia de coordinación intersectorial que tuvo el sector de referencia, por ejemplo con una política de uso de la energía, la cual debe establecer una matriz energética sostenible, necesaria para los emprendimientos mineros, por ejemplo decidir oportunamente qué hacer con el gas natural, si

se industrializará o convertirá en energía para utilizar en el rubro del hierro y el acero.

También es importante definir que modelo de desarrollo minero-metalúrgico se va a implementar, considerando que la minería tiene otro marco referencial muy distinto en el subcontinente, y que ya no somos el país minero que suponíamos ser.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SECTOR MINERO BOLIVIANO

### Evaluación económica y social

Los indicadores sociales muestran que Bolivia ocupa el lugar 113 de 174 países, en términos de desarrollo humano sostenible considerando el índice compuesto IDH, sobre la base de indicadores como la esperanza de vida al nacer, el nivel educacional y el ingreso per cápita.

La expectativa de vida al nacer es de 60 años, inferior al nivel promedio latinoamericano que es de 69 años, para el área rural la situación es más dramática donde la esperanza de vida no supera los 54 años, por otra parte, el 23% de la población es analfabeta, en

el área rural este indicador es de 37% de la población y en mujeres del área rural es de 50%; en América Latina este porcentaje es de 15%.

El PIB per cápita es menor a los mil dólares americanos, menos de un tercio del promedio de América Latina donde alcanza a tres mil. La tasa de mortalidad infantil en Bolivia es de 75 niños que mueren por cada 1.000 nacidos vivos, siendo el promedio latinoamericano del 43 por 1.000.

### Empleo

Los siguientes datos registrados en la tabla 1, presentan la participación del sector minero en el empleo total expresado en miles de personas. Resaltando que cada vez son menos las personas que dedican su actividad productiva al sector minero. En el año 2002, sólo 46.000 personas trabajaban en el sector minero, que representaba una participación del 1.17% del empleo total, aunque esta situación ha cambiado en los últimos años por el incremento en los precios de los metales en el mercado internacional. Alrededor del 80% de la mano de obra proviene del sector artesanal, comúnmente llamado "minería pequeña" en Bolivia.

TABLA 1. Participación del sector minero en la tasa de empleo del país, en miles de personas.

AÑOS	SECTOR MINERO	OTROS SECTORES	EMPLEO TOTAL	PARTICIPACIÓN SECTOR MINERO
1980	73,77	1.645,00	1.718,77	4,29
1981	69,32	1.614,60	1.683,92	4,12
1982	73,67	1.633,60	1.707,27	4,31
1983	80,47	1.597,40	1.677,87	4,80
1984	77,47	1.627,30	1.704,77	4,54
1985	70,00	1.610,30	1.680,30	4,17
1986	47,00	1.614,50	1.661,50	2,83
1987	56,26	1.613,40	1.669,66	3,37
1988	61,71	1.846,50	1.908,21	3,23
1989	70,39	1.712,30	1.782,69	3,95
1990	73,51	1.586,00	1.659,51	4,43
1991	74,95	2.113,80	2.188,75	3,42
1992	70,98	2.551,60	2.622,58	2,71
1993	62,91	2.500,00	2.562,91	2,45
1994	59,99	2.500,50	2.560,49	2,34
1995	52,46	2.551,50	2.603,96	2,01
1996	56,03	3.619,70	3.675,73	1,52
1997	55,36	3.494,57	3.549,93	1,56
1998	53,92	3.681,67	3.735,59	1,44
1999	49,41	3.702,62	3.752,03	1,32
2000	46,61	3.794,34	3.840,95	1,21
2001	48,00	3.810,00	3.858,00	1,30
2002	46,00	3.875,00	3.921,00	1,17

## Valor de la producción

En el 2004, el valor de la producción mineral alcanzó a \$us 455,8 millones y el 2005 a \$us 539,9 millones. Las exportaciones mineras entre esos 2 años, aumentaron en 18,4% (9,7% en precios y 7,9% en volumen), dadas las mayores cotizaciones de los principales minerales exportados (excepto estaño y plomo): zinc, oro, plata, wolfram y antimonio. Se destacan las mayores ventas externas de zinc (principalmente por efecto-precio) y oro (principalmente por efecto-volumen), motivadas por el importante aumento de los precios internacionales de los minerales, debido a la demanda creciente por parte de China e India que provocó un incremento sustancial del valor y monto de nuestras exportaciones, pero sin que esto sea el resultado de una acción planificada de reacción nacional ante la nueva coyuntura del mercado.

## Tasas de crecimiento del PIB

La tabla muestra las tasas de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y la participación del sector minero en el Producto Interno a nivel total.

TABLA 2. Tasa de crecimiento del PIB nacional y el PIB minero.

AÑOS	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PIB TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PIB MINERO	PARTICIPACIÓN PIB MINERO PIB. TOTAL
1990	4,64	12,59	6,20
1991	5,27	3,59	6,10
1992	1,65	1,07	6,07
1993	4,27	8,68	6,33
1994	4,67	0,04	6,05
1995	4,68	9,24	6,31
1996	4,36	(4,72)	5,76
1997	4,95	0,54	5,52
1998	5,03	(0,72)	5,22
1999	0,44	(5,11)	4,93
2000	2,37	1,03	4,86
2001	1,23	(3,58)	4,63
2002	2,59	(3,50)	4,50

## Inversiones mineras

Para el periodo 1998-2005, las inversiones previstas eran de \$us 620 millones, de esta cifra, \$us 600 millones provienen de un solo proyecto argentífero, San Cristóbal de la compañía Andean Silver, mientras que en los países vecinos se registran inversiones muy superiores como muestra la tabla siguiente de datos para la gestión 2005:

TABLA 3. Inversiones mineras en países vecinos en la gestión 2005.

País	Inversión (millones \$us.)
Argentina	810
Chile	1.736
Perú	195

## Potencial geológico

El bajo nivel de exploración minera actualmente en curso no permite revelar el potencial mineralógico que posee Bolivia. El Escudo Precámbrico, situado en la parte oriental, representa probablemente una de las mejores áreas de prospección; virtualmente inexplorado, constituye cerca del 25% del territorio. Otro recurso importante en esta región es el Mutún, que tiene una reserva de 40.000 millones de toneladas de mineral con una ley promedio de 50% de hierro.

La región andina, tradicionalmente minera, todavía tiene importantes reservas de metales base y metales preciosos; asimismo, es importante considerar los recursos evaporíticos ubicados en los salares de Uyuni y Coipasa, que cuentan con metales estratégicos como el litio y el boro. Tal vez se debería pensar en la instalación de una industria de química básica para aprovechar todos los elementos en forma integral. Finalmente, no hay que olvidarse de la explotación de los llamados minerales industriales.

## Estructura del sector minero

### Minería estatal

En 1952, nace la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), como la entidad encargada de la explotación de las grandes minas nacionalizadas. Durante más de 4 décadas COMIBOL fue la principal empresa minera del país, llegando a producir algo más del 70% de las exportaciones de Bolivia y constituyéndose además en la principal fuente de empleo.

Hacia fines de la década de los setenta se produce un auge de la minería, debido a una coyuntura favorable de precios internacionales de los principales minerales; sin embargo, debido a factores estructurales y la crisis de la minería del estaño, empezó una declinación en la producción de estaño, determinando por ejemplo que COMIBOL, que en 1980 generaba el 65% del valor de la producción minera, en 1989 representara sólo el 36%.

En 1985, se produce una profunda crisis en el mercado internacional del estaño que ha provocado la reestructuración del sector minero estatal, definiéndose el cierre de operaciones deficitarias y la transferencia de responsabilidades operativas al sector privado.

### Minería mediana

Los mineros de este sector están agrupados en la Asociación de Mineros Medianos, luego de cumplir ciertos requisitos de volumen de producción, inversión y organización empresarial. Esta Asociación fue fundada el 29 de mayo de 1939, con 28 empresas asociadas, su finalidad esencial es procurar el desarrollo y progreso de la industria minera boliviana, para cuyo efecto asume la representa-

ción colectiva de las empresas mineras privadas ante el gobierno nacional, entidades internacionales y otras organizaciones; estudia y representa las necesidades de la minería privada, vela por la vigencia de las garantías y derechos legales que la amparan y coordina actividades colectivas de la minería mediana como ser: inversiones, financiamientos, comercialización de minerales, suministros, relaciones públicas, etc. También asesora a sus asociados en asuntos legales, tributarios, laborales y administrativos. En los últimos años algunas empresas medianas se han asociado con importantes empresas extranjeras para desarrollar y explotar yacimientos conocidos o ejecutar planes de exploración en busca de nuevos yacimientos.

### **Minería chica y cooperativas**

Los mineros chicos están agrupados por elección propia en las cámaras regionales y departamentales de minería, las que a su vez forman parte de la Cámara Nacional de Minería. Los objetivos, fines y labor que desarrollan estas cámaras son similares a los que desempeña la Asociación Nacional de Mineros Medianos.

Las cooperativas mineras están agrupadas en federaciones regionales y departamentales, las que a su vez están afiliadas a la Federación Nacional de Cooperativas Mineras (FENCOMIN). Las cooperativas mineras han asumido una creciente importancia, tanto en volumen de producción como en absorción de mano de obra; actualmente proveen ocupación a un 80% de la fuerza laboral del sector. La gran mayoría de las cooperativas constituyen unidades productivas de subsistencia ya que carecen de capacidad económica, técnica y empresarial y sólo algunas cooperativas auríferas han tenido acceso a financiamiento. El tamaño de las cooperativas varía desde unos pocos trabajadores hasta más de dos mil. En la actualidad existen alrededor de 510 cooperativas mineras en Bolivia.

## **Instituciones importantes del sector minero**

### **Ministerio de Minería y Metalurgia (MMM)**

Restituido recientemente por Ley 2840, es la autoridad sectorial competente en materia de explotación minera, tiene la siguiente misión:

Formular, dirigir y ejecutar las políticas para la prospección, exploración, explotación, concentración, beneficio, fundición y comercialización de minerales y metales, así como para la investigación básica y aplicada en metalurgia.

Las funciones actuales son:

- Aprovechar eficientemente los recursos minero-metalúrgicos para el desarrollo del sector a través de la formulación, instrumentalización, y fiscalización de políticas.
- Normar y promover la actividad minera y metalúrgica en base a la iniciativa privada, incorporando tecnología adecuada y compatible con la preservación del medio ambiente.

### **Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL)**

Fundada en 1952, en el marco de la nacionalización de las minas de estaño. Actualmente se ha consolidado como una estructura empre-

sarial encargada exclusivamente de administrar contratos de riesgo compartido, arrendamiento y servicios.

### **Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas (SERGEOTECMIN)**

Institución creada recientemente con la fusión de SERGEOMIN Y SETMIN, bajo la autoridad directa del MMM, esta institución extremadamente importante tiene el mandato exclusivo de la recolección, del tratamiento y de la difusión de la información geológica del territorio nacional. Los principales servicios que presta son:

- Geología y recursos naturales
- Hidrogeología
- Minería y Metalurgia
- Información y medio ambiente
- Servicio técnico de minas

### **Superintendencia General de Minas**

Fue creada a través de la Ley 1777 del Código de Minería; también existen las superintendencias regionales de minas que operan en varios distritos mineros. Las funciones de la Superintendencia General de Minas están contenidas en el artículo 111 del Código de Minería.

## **3. CONTEXTO SOCIAL DEL SECTOR**

No se puede hablar de minas en Bolivia sin tocar el contexto social. Los distritos mineros se encuentran entre aquellos con el más bajo índice de desarrollo humano del país. Eso no siempre ha sido el caso. Conviene hacer un breve análisis histórico.

### **De la nacionalización a la relocalización**

En 1952 y a consecuencia de la revolución, el gobierno de Victor Paz Estenssoro procedió a la nacionalización de los activos mineros de los tres grandes barones del estaño: Simón I. Patiño, Félix Aramayo y Mauricio Hoschild; esta nacionalización dio como resultado el nacimiento de COMIBOL.

Los trabajadores mineros en ese entonces disponían de ventajas que, en un país tan pobre, hacían la envidia de otros sectores. Producida la crisis y la caída de los precios del Sn en 1984, la COMIBOL dejó de explotar directamente sus minas y despidió a sus trabajadores con un programa de indemnización con bonos extralegales denominados de relocalización.

### **Los efectos de la relocalización**

Los trabajadores "relocalizados", en su mayor parte constituyeron las cooperativas mineras que explotan fracciones de yacimientos alquilados por COMIBOL; otros simplemente dejaron los distritos mineros para probar suerte en ciudades del eje central o en las regiones productoras de coca.

### **3.1. EL CONTEXTO MINERO SUDAMERICANO**

América del Sur vive desde hace algunos años un boom minero excepcional. Según un estudio realizado por el Engineering and Mining Journal, las inversiones mineras en curso y previstas para el

conjunto del planeta durante el año 1999, totalizaban \$us 50.600 millones; de ese monto, la América del Sur y el Caribe, ellos solos reciben, el 32% ó \$us 16.015 millones.

#### 4. POSIBLES CAUSAS DEL BAJO NIVEL DE INVERSIONES

En Bolivia, se mencionan generalmente 8 razones principales para explicar la relativa ausencia de inversiones mineras en el país:

- Variación del precio de los metales en escala mundial;
- Los problemas de financiamiento de la exploración;
- La falta de infraestructura (rutas, líneas de transporte, de energía, etc.) en Bolivia;
- El tamaño pequeño del mercado boliviano (8 millones de habitantes);
- El contexto metalogénico de Bolivia, más propicio a los yacimientos filonianos que a los grandes volúmenes de yacimientos masivos.
- Los metales más abundantes en Bolivia (Zn, Sn, Ag, Pb) no interesan mucho a los inversionistas;
- El régimen fiscal no competitivo;
- El riesgo país más elevado.

#### El riesgo país

Algunos afirman que invertir en la minería boliviana es más riesgoso que en cualquier otro lugar del mundo; este es un factor muy complejo de analizar pero sobre el cual vale la pena efectuar un comentario.

Las compañías mineras analizan las oportunidades de inversión aplicando criterios que equilibran riesgos y beneficios. Los factores que las compañías mineras tienen en cuenta, varían según el equilibrio entre el potencial geológico y los riesgos, y varían de empresa a empresa.

Los principales criterios de decisión (de entre 62 factores), que una compañía tiene en cuenta para iniciar una exploración son:

1. Potencial geológico atractivo e interesante para el mineral seleccionado.
2. Ganancias en las posibles operaciones.
3. Seguridad de derechos y permisos.
4. Capacidad de repatriar las ganancias; es decir, la libre repatriación de las ganancias y la libre convertibilidad de las divisas.
5. Consistencia en las políticas mineras: es decir, una legislación minera clara, simple y transparente en su aplicación
6. Estabilidad de los términos - condiciones de exploración.
7. Capacidad para predeterminar las obligaciones en medio ambiente.
8. Capacidad para predeterminar responsabilidad fiscal.
9. Estabilidad y equidad del régimen fiscal.
10. Estabilidad social, política y económica.
11. Un rol discreto del Estado en las actividades mineras.
12. La existencia y fácil acceso a la información geológica

Basta a veces que una sola de esas condiciones no esté satisfecha para que los inversionistas permanezcan distantes.

La siguiente tabla muestra la ubicación de los países americanos para atraer inversiones.

TABLA 4. Ubicación de los países americanos por volumen de inversiones en el sector minería.

País	Ubicación
Chile	5
Perú	7
México	8
Brasil	10
Argentina	13
Ecuador	48
Venezuela	54
Bolivia	61

Como se puede apreciar en la tabla anterior, Bolivia está ubicada entre los últimos países americanos dedicados a la actividad minera. Los países vecinos Chile, Perú, Brasil y Argentina están mejor considerados y tienen mejores condiciones para atraer inversiones mineras.

#### 5. UNA ESTRATEGIA PARA SALIR DE LA CRISIS

Uno de los aspectos débiles en los esfuerzos desplegados por Bolivia para atraer inversiones mineras es el contexto social. El país sufre de un problema de imagen estrechamente ligado a sus dificultades en resolver el nivel de la pobreza endémica y de la inestabilidad política que ésta acarrea.

En las siguientes líneas, se propone una estrategia integral para cambiar la situación y sacar la minería boliviana del marasmo que atraviesa actualmente. Esta estrategia de varios componentes descansa sobre los siguientes cuatro pilares fundamentales: 1) Nuevo modelo de minería, 2) Incentivos a la exploración minera, 3) Promoción activa de las inversiones y 4) Apoyo a los mineros pequeños.

#### Nuevo modelo de minería

La minería boliviana antes de la crisis de 1984, estaba formada por un importante sector estatal que fue COMIBOL, otro representado por el sector privado en las asociaciones de mineros medianos y chicos y por un sector social conformado por las cooperativas mineras.

Si bien ese modelo no fue totalmente efectivo, fue reemplazado por otros aún menos exitosos.

El primero fue el de pensar en una gran minería de grandes volúmenes, intensiva en capital y tecnología moderna; esa minería no se concretó por varias razones, entre ellas por no darse en el país 12 de las 68 condiciones mínimas para atraer inversiones que mencionamos anteriormente.

Ese modelo fue reemplazado por un amplio impulso y transferencia de yacimientos, maquinaria y herramientas de COMIBOL, hacia las cooperativas mineras que ahora controlan instituciones clave de la planificación minera como el Ministerio de Minas, y otros niveles de decisión y financiamiento, modelo que si bien tiene sus

efectos positivos contra la desocupación no es un modelo sostenible porque no hacen prospección de yacimientos, no cumplen disposiciones legales como las del Medio Ambiente o la Seguridad Social y en cuanto tienen dificultades de continuar sus operaciones en el yacimiento asignado presionan para que el Estado les asigne nuevos yacimientos o nuevos parajes de potencialidad minera reconocida para seguir con sus operaciones bajo el mismo esquema.

Urge por tanto diseñar un nuevo modelo de desarrollo minero.

La minería puede contribuir al desarrollo sostenible, si se logran superar los siguientes riesgos:

A nivel local – las comunidades que se sienten excluidas, por tener beneficios económicos directos mínimos, riesgos ambientales y sociales elevados; es decir, costos mayores que los beneficios

A nivel nacional – una gobernabilidad deficiente que no es congruente en crear condiciones favorables o minimamente equilibradas y oportunas para aprovechar precios y nichos de mercado altamente favorables

A nivel global – preocupaciones sobre el cambio del clima y pérdidas del medio ambiente y una alta competitividad de otros países por atraer inversiones

Entonces se plantea el desarrollo minero sostenible.

### ¿Qué es el Desarrollo Minero Sostenible?

Una minería financieramente viable que toma lugar de una manera social y ambientalmente responsable con gobernabilidad sana que provee beneficios duraderos a la comunidad y a sus promotores y operadores.

### ¿Porque es importante el Desarrollo Minero Sostenible?

Es esencial para que un proyecto minero pueda contribuir a la reducción efectiva y duradera de la pobreza a niveles locales y regionales y para que los emprendimientos mineros cuenten con la aceptación general.

En el modelo de desarrollo minero sostenible hay tres actores principales: gobierno, comunidad y sector privado, cada uno juega un rol importante.

## Gobierno

El rol del Gobierno sería imponer las reglas de juego, primero, para establecer un ambiente de inversión atractivo y estable para que la minería, estatal, privada y cooperativa, puedan realizar emprendimientos significativos y segundo, para asegurar que la minería asuma una responsabilidad ambiental y de protagonismo en el desarrollo de los distritos donde se asiente.

## Comunidad

A la Comunidad le correspondería organizarse para manejar los impactos (negativos y positivos) de la minería y considerar opciones viables y factibles de desarrollo alternativo para evitar los peligros de volverse dependiente sólo de las minas, valorando en su justa dimensión que los recursos mineros naturales sólo significan riqueza si son extraídos y transformados en bienes de mercado

## Sector privado

A las empresas mineras les correspondería identificar, minimizar y manejar los riesgos sociales y ambientales y *generar valor agregado* para que el proyecto deje una herencia positiva para la comunidad, canalizando hacia la región todo el sinergismo positivo que sea posible obtener.

## Solución para los mineros pequeños

### ¿Por qué ayudar a los mineros pequeños?

Tal como lo demuestra Eduardo Chaparro (CEPAL), pensamos **que es necesario un nuevo enfoque que considere el sector minero pequeño no como un problema sino más bien como una oportunidad** (Chaparro, 2000), ya que significa un sector económicamente muy significativo si se considera en forma global el valor de su producción (por ahora a nivel internacional), la facilidad y rapidez de adaptación al cambio y la mínima demanda de carga para el Estado que este sector significa.

### ¿Cuáles son los problemas más importantes del sector minero artesanal?

La principal preocupación de los mineros pequeños es el acceso al financiamiento. Si le agregamos la dificultad de obtener equipo y tecnología, a la cual está estrechamente asociada, las cuestiones financieras representan el 48% del total de sus dificultades. Las cuestiones relacionadas al trabajo tales como la formación, la seguridad industrial, las condiciones de trabajo, el trabajo infantil y la seguridad de empleo representan el 25% y el restante 27% son dificultades de una favorable comercialización de productos y cuidado del medio ambiente.

## La ayuda nacional e internacional a los mineros pequeños bolivianos

Los programas de cooperación internacional tocaron a diferentes aspectos de la problemática de las minas artesanales bolivianas; sin embargo, se puede afirmar que ninguno de ellos, va más allá de una asistencia relativamente puntual. El tiempo del asistencialismo ya caducó. **Se propone convertir a los mineros pequeños en PyMEs mineras.**

La PyME minera, bien organizada, será más capaz de promover su propiedad y de formar emprendimientos con las empresas mineras extranjeras que le proporcionarán la tecnología y el capital que podrían conducir eventualmente al crecimiento de la mina. El papel del Estado será determinante para facilitar el contacto entre esas PyME, y el capital extranjero.

La estrategia que se propone para apoyar a los mineros pequeños implica tres etapas que deben ser realizadas de manera secuencial involucrando y partiendo de la existencia de las Cámaras Departamentales y Regionales de Minería que aún sobreviven para someterlas a un vigoroso programa de fortalecimiento institucional.

### Etapa 1: La formación integral

En el siguiente cuadro se esquematiza la formación propuesta y los resultados esperados de ésta:

## TIPO DE FORMACIÓN Y RESULTADOS ESPERADOS

### Tipo de formación

- Formación cívica
- Formación empresarial
- Formación en seguridad industrial
- Formación en gestión ambiental
- Formación en concertación-negociación

### Resultados esperados

- Mejores ciudadanos corporativos
- Mejores administradores
- Valorización del capital humano
- Valorización del capital natural
- Mejores relaciones con la comunidad

Se trata de desarrollar en el seno de la comunidad minera (llámense cámaras o asociaciones de productores), lo que los angloparlantes llaman la fibra moral, que lleva a los individuos a actuar en función de valores universalmente aceptados y aceptables.

### Etapa 2: La asistencia técnica

Una vez completada la formación integral prevista en la etapa 1, los mineros chicos, artesanales y cooperativistas estarán mucho mejor preparados para recibir y aprovechar la asistencia técnica que necesitan. Dicha asistencia debería atender especialmente los siguientes temas:

- Métodos de explotación
- Fortificación
- Ventilación
- Mecánica de rocas y voladura
- Administración de empresas mineras
- Procesamiento de minerales
- Comercialización de minerales
- Seguridad industrial y salud ocupacional
- Gestión ambiental minera

### Etapa 3: El acceso al capital

Los problemas de financiamiento representan la prioridad número uno de los mineros pequeños. Toda empresa minera, grande o pequeña, requiere de capital para desarrollar el yacimiento, adquirir el equipo, hacer la exploración y crear un capital de operación. El gobierno boliviano podría negociar un acuerdo con algunos bancos o entidades financieras para permitir la concesión de préstamos a operaciones artesanales en base a un cierto número de criterios:

1. Que los dirigentes y el personal de la mina hayan seguido con éxito todo el programa de formación integral descrito en la etapa 1 y que hayan recibido asistencia técnica (etapa 2). El monto prestado tendrá más posibilidades de ser administrado convenientemente y de ser reembolsado si la empresa conoce los principios de gestión y actúa en conformidad con las normas medioambientales y de salud y seguridad ocupacional. Sería igualmente una excelente manera de incentivar a los mineros pequeños a participar en el programa de formación;
2. Que la empresa disponga de un estudio técnico (factibilidad o prefactibilidad), independiente e imparcial demostrando el potencial del yacimiento (reservas, ley, potencia de la veta, etc.), y el programa de inversiones requerido, o mínimamente que su record de producción anterior avalen la necesidad de financiamiento. Este estudio de factibilidad podría provenir de un programa de asistencia técnica internacional, de un pro-

grama de asistencia gubernamental o de un convenio regional entre instituciones una vez que la empresa habría seguido y aprobado todo el programa de formación integral mencionado anteriormente.

### **Solución para los mineros cooperativistas**

Las tres etapas de asistencia sugeridas para los mineros chicos son también válidas para el sector de las cooperativas, pero ellos tienen una matriz DAFO con fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades distintas a la de los mineros chicos que necesitan de las siguientes acciones complementarias inmediatas.

1. Fortalecimiento institucional para convertirlas en sujeto responsable de crédito y de asociación.
2. Adecuación y complementación jurídica normativa para la organización, funcionamiento y vigencia de las cooperativas mineras, dentro del código minero y sus reglamentaciones.
3. Atención a sus necesidades de financiamiento y de sitios de explotación sin generar conflictos intersectoriales y sin aumentar el riesgo país para no afectar el interés superior nacional.
4. Involucrar a las cooperativas mineras en la preservación del medio ambiente y en el desarrollo sostenible del área de sus concesiones.
5. Promover asociaciones comerciales y tecnológicas para el mejor aprovechamiento de los yacimientos y sus recursos.

### **Solución para grandes proyectos mineros**

Mientras el país no mejore los principales indicadores que se requieren para atraer inversiones, muy difícilmente vendrán al país capitales frescos para el sector minero; sin embargo, hay coyunturas especiales emergentes del mercado actual que debiéramos aprovechar con celeridad y ellas son:

1. Demanda por materias primas minerales de la India y la China (próximas potencias mundiales).
2. Sobre utilidad de los sectores petroleros que requieren diversificación de sus inversiones.
3. Agotamiento de stocks reguladores de precios en determinados minerales (Ej: Sn).
4. Exigencias ambientales y financieras en países súper industrializados que desplazan actividades industriales de menor competitividad.

Mientras se logren concretar nuevos prospectos mineros se deben alentar y apoyar los ya existentes como son el Mutún, San Cristóbal, San Bartolomé, etc., con acciones claras y efectivas como pueden ser:

1. Integración de los proyectos a redes de energía.
2. Mejoramiento de la infraestructura vial.

3. Puesta en marcha de proyectos complementarios (Ej., Karachipampa para San Cristóbal, construcción de gasoducto para el Mutún, interconexión ferroviaria de las redes oriental y occidental).
4. Complementación de los corredores bioceánicos.

### **Solución para COMIBOL**

Consideramos que fue un error suspender totalmente las prerrogativas de explotar yacimientos de COMIBOL, y que más bien debía asimilarse el modelo chileno que se utilizó para CODELCO, que ahora es una transnacional chilena.

Como no se puede retroceder en la Historia, al menos se debería iera sacar experiencia del pasado, planteando concretamente la necesidad de **refundar COMIBOL**, que sin incurrir en los errores cometidos anteriormente, dinamice el sector minero en el marco de la coyuntura actual, para ello es necesario:

1. Negociar con las cooperativas mineras los contratos de arrendamiento de yacimientos para poder explotarlos utilizando las nuevas tecnologías mucho más eficientes que existen actualmente.
2. Capitalizar COMIBOL, como se hizo con YPFB para que pueda encarar rápidamente proyectos de exploración y explotación por ejemplo de relaves que resultan ser actualmente técnica y económicamente factibles
3. Revisar y mejorar los contratos de riesgo compartido suscritos con anterioridad.
4. Desterrar la injerencia partidaria y la corrupción en todos los niveles.

## **6. ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES POR LA NATURALEZA DE LAS OPERACIONES**

### **6.1 LA CONCENTRACIÓN DE MINERALES**

La concentración gravimétrica de minerales, por ser la más simple y económica de todos los métodos de concentración, que permite la recuperación de valores en un rango bastante amplio, se aplicó en la minería boliviana desde siempre. Cuando la minería estaba en manos de los tres barones del estaño, Hirsch, Aramayo y Patiño, principalmente este último, la concentración de minerales de estaño tuvo una especial atención ya que incorporó a sus operaciones los últimos adelantos de la tecnología de ese tiempo que consistía en el uso de la Sink and Float para minerales de estaño apenas dos años después de haberse patentado ese método para la minería del hierro empleando ferrosilicio como medio pesado.

La mineralogía de la mayor parte de los yacimientos bolivianos que estaban en poder de los barones del estaño tenían características diferentes ya que por una parte se contaban con yacimientos bastante “nobles”, con leyes de cabeza elevadas, que permitían grados de liberación del mineral valioso en rangos de tamaños relativamente gruesos y por ello su concentración se veía favorecida, por una clasificación adecuada en los clasificadores hidráulicos seguidas de la concentración en las mesas vibrantes o en jigs.

Cuando se nacionalizaron las minas y se creó COMIBOL el 31 de octubre de 1952, la mineralogía de la mayoría de los yacimientos

que se explotaba en esa época había cambiado notablemente volviéndose muy difícil lograr altas recuperaciones en los ingenios a pesar de los complejos circuitos que se habían instalado como es el caso del Ingenio Victoria en la Empresa Minera Catavi que se consideraba era el modelo tecnológico a imitar para recuperar la casiterita con la famosa **regla de oro** que consistía en recuperar el estaño tan pronto y en el tamaño de grano más grande que fuese posible y por ello se utilizaban equipos de avanzada tecnológica para esas épocas como eran la sink and float, los jigs, las mesas vibrantes, y las mesas Sullivan de volteo y se experimentaba en secreto procesos de concentración gravimétrica en la planta Krauth.

En esa época no se contaba con tecnología adecuada para la recuperación de casiterita en fracciones finas, menores a 200 mallas Tyler (74 micrones), por lo que los esfuerzos y las líneas principales de investigación en las Universidades, Instituto de Investigaciones Minero-Metalúrgicas y las propias empresas era desarrollar la flotación de casiterita y la volatilización del Sn al punto de que se llegaron a construir grandes plantas como la planta de flotación del Kenko en Catavi o las plantas de volatilización de La Palca y Machacamarca, esta última inconclusa.

La volatilización aparte de ser un proceso caro y ambientalmente resistido requiere que el producto alimentado tenga una ley mínima económica entre 3 y 5% Sn (preconcentrados) y la flotación de casiterita nunca fue una opción real por utilizar reactivos caros, y requerir circuitos complejos ya que los colectores utilizados (Aerosol 22) eran poco selectivos frente a los minerales de hierro y a la turmalina.

A pesar de esas dificultades, la concentración gravimétrica fue descuidada llegándose a pensar por parte de algunos técnicos y ejecutivos de empresas que había terminado el ciclo de la concentración gravimétrica para recuperar estaño.

### **6.2 EL PROBLEMA DE LA RECUPERACIÓN DE FINOS**

El tratamiento de finos origina varios problemas para el ingeniero metalurgista; a medida que bajan las leyes del mineral aumenta la necesidad de tratar más tonelaje para lograr la misma producción, adicionalmente junto a la disminución en las leyes de cabeza, viene asociado el problema de una mayor complejidad mineralógica y una diseminación más fina del mineral valioso (estaño), que requiere de una molienda más fina y por consecuencia una mayor producción de partículas finas difíciles de recuperar por la tecnología utilizada en esa época.

Con minerales de placeres o yacimientos secundarios, como son los de los principales competidores para la producción boliviana (Malasia, Tailandia, Brasil) la proporción partículas de Sn en tamaños <75 micrones es, por lo general relativamente baja, debido al proceso de clasificación natural durante la deposición de dichos depósitos y por consiguiente rara vez es necesaria la concentración gravimétrica de las partículas finas, sin embargo, en el tratamiento de minerales filonianos sucede exactamente lo contrario. Es muy conocido entre los metalurgistas el siguiente diagrama que muestra los límites de aplicabilidad de los diferentes métodos de concentración de minerales (figura 1):

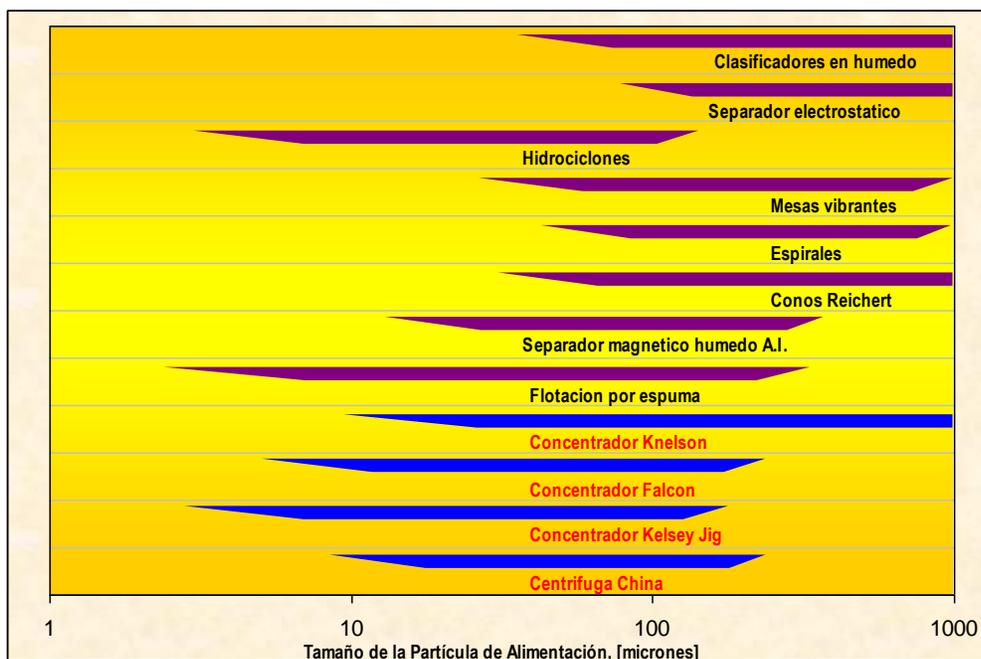


Figura 1.- Escala efectiva de aplicación de técnicas convencionales de concentración y concentración centrífuga.

La mayoría de los procesos de concentración conocidos, incluyendo separación gravimétrica, flotación, separación magnética, etc., tienen un tamaño mínimo de partícula que se puede recuperar eficientemente. En ciertos casos, tales como la flotación de fosfatos, éste puede ser tan grueso como 100 micrones; sin embargo, con más frecuencia el tamaño mínimo fluctúa por encima de 53 micrones (270 # Tyler). Con aparatos modernos de concentración gravimétrica, Mills y Buró (1979), se demostró que el límite más bajo es de 5 micrones.

Esta innovadora tecnología ya se está utilizando en algunas empresas mineras bolivianas como E.M.Colquiri y RBG Huanuni, Copromin y los laboratorios universitarios de la UMSA y sobre todo de la UTO, que tiene entre sus equipos justamente unidades de escala piloto como son el Concentrador Falcon, el Jig Kelsey y la Centrifuga China colocándose estas empresas y laboratorios a la vanguardia de la tecnología moderna que también puede ser utilizada con buenos índices metalúrgicos, en minerales oxidados de wolfram, antimonio, tantalio, oro y plata.

A pesar de que los avances tecnológicos han sido importantes en el campo de la concentración gravimétrica de partículas finas y estos están disponibles en el país; a nivel industrial se dan situaciones extremas altamente preocupantes, por una parte existen numerosas operaciones de cooperativistas (con más de 50.000 afiliados), que están utilizando métodos de concentración arcaicos descritos en libros técnicos de la edad media (Jorge Agrícola), como son las canaletas (figura 2), maritales (figura 3) y budles de muy bajo rendimiento metalúrgico, baja capacidad de tratamiento y alto costo de operación y por otro lado pocas empresas con tecnología de

punta desaprovechando el país la coyuntura tan favorable de buenos precios de los minerales que imperan en el mercado después de más de 20 años de terrible recesión que obligó el cierre de operaciones de muchas empresas y el desmantelamiento de Comibol.



Figura 2. Beneficio de minerales en una canaleta móvil

Ahora que se plantea la discusión política sobre la conveniencia de la refundación de Comibol, consideramos que existen condiciones económicas y técnicas adecuadas para explotar en condiciones rentables muchas de las reservas acumuladas como colas y desmontes como las que resume la tabla 5.

Para ello, es necesario modernizar los procesos de concentración utilizando combinaciones de circuitos y procesos adecuados para cada tipo de mineral y alcanzar niveles de productibilidad que supe-

ren en promedio más del 70% de recuperación en Sn a nivel industrial, frente a los clásicos 50% que caracterizaban la minería boliviana antes de la crisis de 1984, con equipos de última tecnología como son los concentradores centrífugos del tipo Falcon, Kelsey Jig, MGS-Mozley, etc., como se puede apreciar en las figuras 4, 5 y 6.



Figura 3.- Maritate sencillo con recipiente de asentamiento

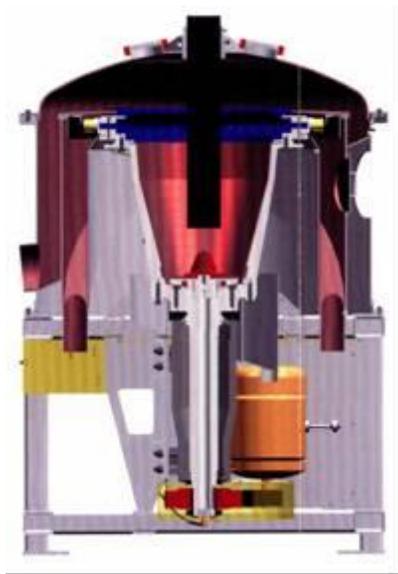


Figura 4.- Esquema de la parte interior del concentrador Falcon.

TABLA 5. Colas y desmontes en propiedades de Comibol.

NOMBRE	Cantidad de residuo mineral, toneladas		TOTAL (Ton.)
	Colas	Desmontes	
Bolivar	41.000	981.000	1'022.000
Bolsa Negra	28.918		28.918
Caracoles	543.375	30.625	574.000
Chocaya	1'780.782	920.355	2'701.137
Chorolque	445.829	485.089	930.918
Colavi		1'302.630	1'302.630
Colquechaca	242.326	8'625.386	8'867.712
Colquiri	13'701.600	1'110.700	14'812.300
Coro Coro	214.375		214.375
Huanuni	2'401.000	627.000	328.000
Japo	581.000	493.000	1'074.000
Kami	13.230	1'171.355	1'184.585
Llallagua	380.000	25'000.000	25'380.000
Machacamarca	779.000		779.000
Matilde	1'238.125	168	1'343.650
Morococala	108.000	1'110.000	1'218.000
Poopo	684.000		684.000
Pulacayo		2,408.000	2'408.000
San Jose	3'469.504	2'783.715	6'253.219
Santa Fe	68.000	850.000	918.000
Tasna	829.000	655.486	1'484.486
Tatasi	2'495.500	70.060	2'565.560
Telamayu	5'314.500		5'314.500
Unificada	7'437.500		7'437.500
Viloco	2'047.167	13'93.767	3'440.934

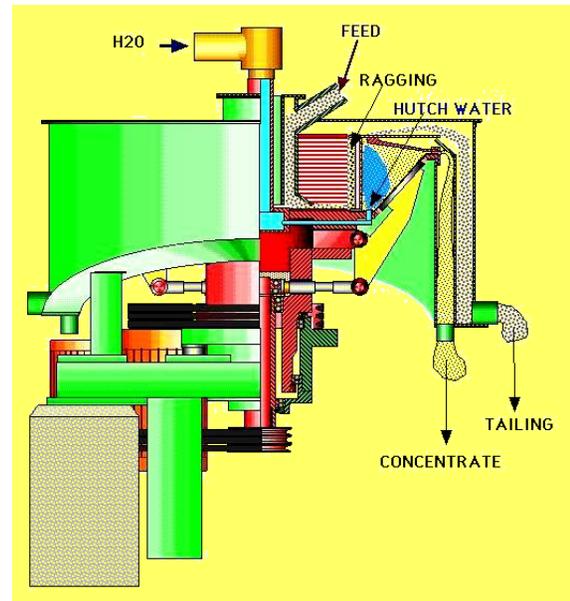


Figura 5.- Parte interior de un concentrador Kelsey-jig

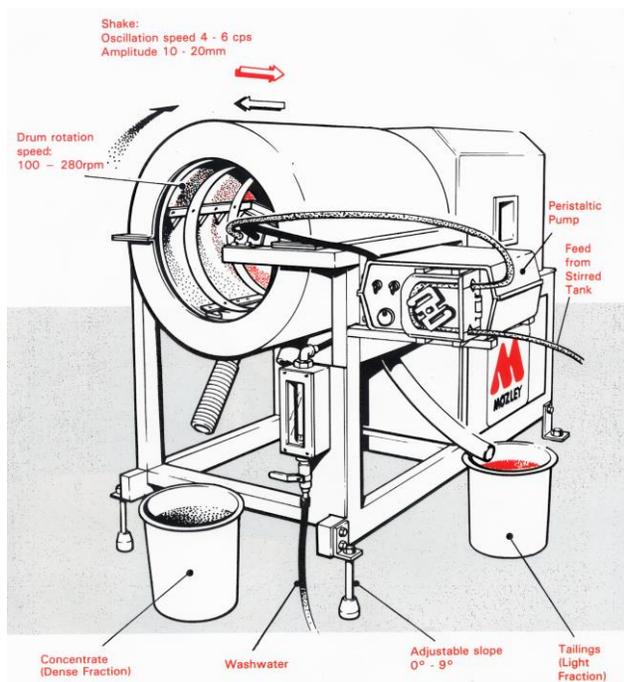


Figura 6. Concentrador MGS-Mozley

### 6.3. LA HIDROMETALURGIA EN EL PAÍS

Si bien fue COMIBOL la empresa que empezó a incursionar en el uso de los procesos hidrometalúrgicos, existen antecedentes anteriores de la utilización de este tipo de procesos en períodos anteriores como la lixiviación de plata de concentrados procesados por tostación clorurante en Machacamarca .

Sea como fuese, las primeras operaciones propiamente hidrometalúrgicas de gran escala se originaron en la lixiviación de oro de la mina Kori Kollo, en el departamento de Oruro por parte de la empresa Inti Raymi.

Inti Raymi inició la explotación del yacimiento en 1982. La actividad minera se concentró principalmente en el área del tajo Kori Kollo. El mineral se lixivió en plataformas reusables designadas como Chuquiña y San Andrés. Las colas removidas de las plataformas de San Andrés cubren una parte del planificado tajo Llallagua. El tajo Kori Kollo se minó por mineral de óxidos hasta la disminución de las reservas económicas en 1992. La operación cambió luego de rumbo hacia la extracción de oro a partir de mineral de sulfuros subyacente del tajo Kori Kollo. Asimismo, los otros cuatro tajos de Nueva Esperanza Este y Oeste, Llallagua y La Barca, se planificaron colectivamente como la operación denominada Llallagua. Inicialmente desarrollados para la extracción de mineral de óxidos y luego de mineral de sulfuros extraídos por áreas. Los desmontes fueron depositados en botaderos al sudoeste del tajo Kori Kollo y se planificó un botadero adicional al este de los tajos Nueva Esperanza y Llallagua.

El mineral de sulfuros del tajo Kori Kollo fue procesado en una chancadora y molinos previo a su recuperación en la planta

“Carbón in Leach” (CIL), utilizando cianuro de sodio como principal reactivo químico. Los óxidos de la operación Llallagua fueron procesados de manera similar. Con anterioridad al minado del tajo Llallagua, las colas de óxidos de San Andrés fueron removidas y reprocesadas en la planta CIL. Las colas conteniendo cianuro de sodio fueron detoxificadas en la planta de destrucción de cianuro mediante el proceso INCO, y el total de las colas fue enviado vía una tubería al dique de colas de 2,5 km de diámetro con revestimiento de arcilla compactada en la base y el embanque.

Por otra parte, se debe acotar que es la primera empresa minera que actualmente está desarrollando un plan de cierre de mina que involucra tecnologías específicas para el control del drenaje ácido de rocas, la estabilización física y química de las colas y del material lixiviado, la restauración y el control de erosión. El plan de cierre contiene componentes integrados que incluyen el uso del Río Desaguadero para la inundación del tajo, y así, mejorar la calidad del agua en el lago y mantener el hábitat creado por las operaciones de bombeo para la vida silvestre.

La segunda operación importante en el área de la hidrometalurgia en nuestro país fue desarrollada por la COMPAÑÍA MINERA del SUR – COMCO, que a partir de 1987 e inicios de 1988, comenzó con la extracción de la plata de los desmontes oxidados del Cerro Rico de Potosí, mediante la lixiviación en pilas.

Los desmontes fueron pesados y descargados en diferentes áreas del “stock pile” de acuerdo a su ley y sus contenidos de humedad; para luego, ser alimentados a sección de trituración en tres etapas, y pasar al circuito de molienda y finalmente ingresar al circuito de aglomeración para su posterior apilado en pilas de lixiviación. La solución preñada era bombeada al proceso Merrill Crowe para la cementación de la plata; y finalmente, el cemento obtenido pasar a la fundición para obtener los lingotes de plata.

La tercera operación en importancia es la que se desarrolló por COMSUR en el denominado “Proyecto Don Mario”, en el departamento de Santa Cruz.

La última operación importante de la aplicación de procesos hidrometalúrgicos es el “Proyecto Kori Chaca”; que actualmente opera la Empresa Minera Inti Raymi S.A.

En la hidrometalurgia de minerales complejos de plata, se han realizado importantes avances tecnológicos, uno de ellos es el proyecto original de Baremsa que tecnológicamente significaba una aplicación ingenieril muy interesante que consistía en lixiviar la plata de las colas de San José con soluciones calientes de cloruro férrico y cloruro de sodio y una posterior recuperación de la plata por cementación con chatarra de hierro, volatilización de antimonio, fusión y copelación de plata, y que debido a la caída en la cotización de la plata tuvo que cerrar operaciones en su planta instalada para procesar las colas finas de Itos en Oruro, posteriormente el circuito fue rediseñado por técnicos de Tecmet y hoy está nuevamente en operación bajo un diseño tecnológico simplificado y de menor costo de operación.

Tecmet del ingeniero Saúl Cabrera tiene instalado en el área del parque industrial de Huajara una planta hidrometalúrgica que produce plata metálica, partiendo de minerales complejos con altos contenidos de antimonio y arsénico como son los concentrados de

alta ley que producen las cooperativas que explotan el yacimiento de San José en Oruro.

Este emprendimiento privado que tuvo apoyo de COMIBOL y de APEMIN es un excelente ejemplo para los profesionales metalurgistas que buscan generar emprendimientos nuevos, aplicando sus conocimientos y experiencias propias.

Los procesos hidrometalúrgicos ofrecen interesantes oportunidades de desarrollo si se aplican los nuevos avances tecnológicos y se superan algunas limitaciones como son la carencia de ácido sulfúrico para la lixiviación de minerales de cobre que podría ser superada si Karachipampa entrara en operaciones.

Entre las oportunidades que el país puede aprovechar vía hidrometalurgia se mencionan:

- Bio-lixiviación de minerales refractarios de oro.
- Lixiviación ácida de minerales de cobre que hoy vale más que el estaño, una opción que se viene estudiando en nuestros laboratorios, es utilizar agua ácida de mina en reemplazo de soluciones de ácido sulfúrico.
- Lixiviación de minerales de zinc muy abundantes en el país.
- Lixiviación de minerales de plata.

Para algunos procesos hidrometalúrgicos, el país tiene al menos parte de la infraestructura necesaria instalada y sin uso como es la planta de refinación electrolítica en la fundición de Vinto y que podría ser utilizada para producir cobre electrolítico lixiviando los minerales de cobre de Corocoro, Chacarilla y otros existentes en el departamento de Oruro.

Para favorecer el desarrollo de la hidrometalurgia debe también revisarse la reglamentación de la Ley 1008, de substancias controladas, porque adicionalmente al alto precio de los ácidos su uso industrial es muy limitado y administrativamente muy riesgoso.

#### 6.4. LA PIROMETALURGIA

En el territorio boliviano desde siempre se han producido metales por procesos de fundición. En época de Tiwanacu, y después en el incario, los originarios fundían el oro y la plata que extraían de las minas de la Cordillera de los Andes. Los minerales de plata se fundían en hornos denominados huayrachinas que empleaban la taquia como combustible, tecnología que fue adoptada luego por los españoles para fundir la plata de Potosí. En la Colonia, la población de San Miguel de Uru Uru, (hoy Oruro), proveía el estaño para la fabricación del bronce. En ese entonces existían más de diez pequeñas fundiciones artesanales que obtenían el estaño metálico por el método de montones, El mineral se los traía de Huanuni (distrito de Paria), y el cobre se lo obtenía de Corocoro. La necesidad que tenían los españoles de contar con bronce era para la fabricación de cañones y material bélico.

Una de las primeras fundiciones industriales importantes de minerales de estaño fue instalada a fines del siglo XIX por los hermanos Dupleich en las faldas de Sajama, a fin de aprovechar los bosques de keñua de la región como combustible. Posteriormente, instalaron una segunda fundición en Sora Sora, cerca de Machacamarca.

“A principios del Siglo XX, el Ing. Gonzalo Artola organizó en Tupiza la firma Metalúrgica Gonzalo Artola e Hijos, que disponía

de una pequeña fundición de antimonio, la primera en el país. Igualmente, en La Paz, la firma Obrits fundía hierro en crisoles grandes para la industria manufacturera”. En Corocoro, funcionaba una fundición de cobre.

Fue el empresario Mariano Perú, quien en 1937, instaló la primera fundición de estaño en gran escala, demostrando a los escépticos que se podía fundir el estaño en la altura de Oruro, sin la necesidad de coque.

En julio de 1966, el presidente Alfredo Ovando Candia anunció la firma de un contrato con la Klockner Industrie Antajes para la construcción de una fundición de estaño en la localidad de Vinto-Oruro, con capacidad de fundir 20.000 Tn anuales. El 9 de enero de 1971, se ponía en marcha dicha planta de fundición.

La producción de concentrados mixtos de sulfuros Bi – Cu del Ingenio Buen Retiro de Comibol se procesaban en la fundición de bismuto de Telamayu. La planta comenzó a trabajar en 1972, estaba planeada para tratar 400 toneladas de concentrado por mes. La firma Poudrieres Reunies de Bélgica (PRB), fue la encargada de construir la planta, única en el mundo que producía este metal a partir de concentrados sulfuros con una tecnología de fundición carbotérmica que permitía obtener bismuto metálico directamente de los concentrados sulfurosos, sin pasar por la tostación oxidante clásica que es altamente contaminante. Posteriormente, esta planta tuvo que ser cerrada debido a una caída brusca en el precio de bismuto en una crisis mal manejada por Comibol, porque Bolivia era el primer productor mundial de bismuto y el único en producir este metal en forma directa a partir de concentrados de bismutina, porque el resto de la producción se obtiene como subproducto de otros procesos.

En estos días se está por cometer otra atrocidad en contra de la fundición de bismuto de Telamayu transformándola en una fundición de Sn, cuando a nivel internacional el interés es más bien desarrollar la carbotermia para obtener metales directamente a partir de sulfuros y es nuestro deber alertar contra ese desatino tecnológico que significará otro retroceso más en la metalurgia nacional.

La planta de volatilización de La Palca, ubicada en la zona denominada La Palca, a orillas del río Cayara a 17 km al NO de la ciudad de Potosí, ha sido instalada por los soviéticos y puesta en marcha el año 1979, con la finalidad de recuperar el estaño por volatilización, de preconcentrados de diferente procedencia, principalmente de las minas de Comibol. La recuperación de estaño oscilaba entre 93.50% y 94.50%, la ley de alimentación de los preconcentrados era de 3.0 – 5.0% Sn produciendo polvos de estaño con contenidos de alrededor de 50%, estos polvos eran peletizados y enviados a la fundición de Vinto. La planta funcionaba con combustible líquido (fuel oil) con un consumo de 2.450 – 2.650 kg/hr, generando además energía, con un turbogenerador, para autoabastecerse. Paró a fines de 1985, por razones ampliamente conocidas. En los últimos años han intentado darle utilidad a estas instalaciones ya sea para la volatilización de estaño, empleando combustible gaseoso o para el tratamiento de minerales de zinc, naturalmente que algunas instalaciones deben ser readecuadas para este propósito.

En 1983, se acabaron los trabajos de montaje de la Sociedad Complejo Karachipampa, cerca de la ciudad de Potosí, diseñada por el

Consortio alemán belga Klockner – INA - Sidech – Mechim, y que permite la obtención de plomo y plata metálicos, así como varios subproductos de valor comercial. La planta tiene una capacidad de 51.131 TM/año, y está diseñada para tratar concentrados con una ley promedio de 47% Pb y 3,989 g Ag/TM. Hasta la fecha este complejo no ha sido utilizado a pesar de la millonaria inversión realizada durante los largos años que duró su construcción.

A la lista de las grandes inversiones en plantas metalúrgicas no utilizadas se debe agregar las plantas de volatilización de Sn de La Palca en Potosí y Machacamarcas en Oruro, esta última se desmanteló aún antes de terminar de instalarla.

## **POLÍTICA EN MATERIA DE FUNDICIONES**

### **Estaño**

La producción de concentrados de baja ley es absorbida por la empresa Operaciones Metalúrgicas (OMSA), que por medio de volatilización en horno fuming, produce polvos de estaño que son fundidos para la obtención de estaño crudo.

Los concentrados de alta y media ley son fundidos en la Empresa Metalúrgica Vinto, que emplea para la fusión hornos reverbero, una tecnología obsoleta, con elevado consumo de combustible y baja velocidad específica de fusión, además que las instalaciones de la planta ya han cumplido con su vida útil. Los costos de maquila son elevados, y ofrecen poco atractivo a los mineros productores de concentrados. La fundición MINSUR del Perú utiliza la tecnología australiana CIROSMELT, Vinto debe modernizar sus instalaciones para poder competir en costos y rendimientos.

Otro objetivo debe ser ya no exportar lingotes, sino productos de valor agregado, como sales de estaño, soldaduras, soldaduras especiales, aleaciones de estaño y estaño de elevada pureza, y para ello la investigación en tecnologías y mercados debe ser apoyada y alentada por las empresas dedicadas a este metal.

### **Plomo-plata**

La producción de concentrados de plomo-plata de 25.000 TM/año, es insuficiente técnica y económicamente para poner en marcha Karachipampa, planta que por la gran inversión realizada, no se puede dejar más tiempo sin utilizar. En 1992, una comisión integrada por el gobierno, universidades y productores, recomendó como una de las alternativas para poner en marcha el Complejo la integración de Karachipampa con una refinación de zinc - plata tomando en cuenta la conveniencia de que los residuos de una refinación de zinc, con contenidos de plata, plomo (aprox 50 TMF/año), zinc, antimonio, cobre estaño y otros elementos valiosos, puedan alimentar a Karachipampa con un valor nominal muy bajo; por su parte, los óxidos de zinc producidos en la fundición, podrían volver a la refinación de zinc para convertirse en zinc metálico de mayor valor agregado. Esta combinación puede conducir a una operación integrada rentable, que debe confirmarse a través de un estudio de factibilidad.

Esta comisión pudo establecer que la producción boliviana en plata seguía siendo muy importante y estaba dentro de los volúmenes requeridos para Karachipampa, aunque había un déficit en la canti-

dad de plomo asociado por lo que propuso estudiar también otras opciones que podrían hacer viable a Karachipampa.

A la fecha, con los nuevos precios de la plata, su producción se ha incrementado aún mucho más y lamentablemente está saliendo del país como concentrados sin valor agregado, por lo que se demanda acciones inmediatas para revertir ésta situación que pasan por arrancar Karachipampa y gravar con impuestos la exportación de concentrados de plata para desalentar su exportación.

El elevado precio actual de los metales respecto a la fecha del estudio de la comisión en 1992, justifica la búsqueda de otras alternativas para Karachipampa, como el funcionamiento independiente del sector de refinación de metales preciosos para la producción de plata metálica, o la importación de mineral de plomo-plata en la cantidad suficiente para arrancar la planta, hasta que la producción nacional, conseguida por medio de programas de fomento de la producción, sea la suficiente para alimentar a la planta, o se tomen en cuenta las otras opciones propuestas.

### **Wolfram**

Por la coyuntura actual del mercado de minerales, el tungsteno es uno de los metales que vale más que el estaño y que se explota en Bolivia, por tanto ocuparse de su metalurgia es más que urgente.

El tungsteno o wolfram se explota en el país bajo la forma de wolframita (Fe,Mn)WO<sub>4</sub> y scheelita CaWO<sub>4</sub>, que requieren de procesos metalúrgicos diferentes para llegar a obtener metálico o aleaciones de uso industrial directo.

Una de las dificultades de la metalurgia del tungsteno es que se requiere elevadísimas temperaturas para su fusión, por ello se utilizan otras opciones como por ejemplo producir ferroaleaciones de tungsteno en horno eléctrico.

Oruro tiene varios hornos eléctricos instalados sin uso y en ellos se puede fabricar ferrotungsteno con un valor agregado mayor a la comercialización directa de concentrados, alentar esa opción creando condiciones favorables debiera ser responsabilidad del ministerio de minas y metalurgia y de la asociación de productores de tungsteno.

### **Cobre**

Durante muchísimos años se ha planteado que para tener éxito en la minería del cobre se debe trabajar en proyectos de gran escala, sin embargo, en un importante evento técnico-científico realizado en Chile (Cobre 95), se demostró que también son muy rentables las operaciones de pequeña escala, si se explota materiales más ricos en cobre que es justamente lo que tenemos en el país por tanto, se debe fomentar la explotación de cobre y su procesamiento por lo menos para reemplazar las importaciones de cobre metálico que consumimos y en esa dirección son necesarias varias acciones, como ser:

1. Reconsiderar la privatización en la comercialización de minerales que no está favoreciendo a los productores mineros y no está promocionando adecuadamente la comercialización de minerales menos tradicionales como el cobre, el níquel, el bismuto, el molibdeno, etc., ni está aprovechando

nichos de mercado que surgen bajo condiciones particulares (Ej: especularita).

2. Integrar la infraestructura existente para producir cobre metálico electrolítico (planta de electrólisis de Vinto, yacimientos de cobre de Corocoro, Chacarilla y otros, hornos de tostación de la ex-Metabol, eventualmente la fábrica de ácido sulfúrico de Eucaliptos.

## Antimonio

Mientras operaba Vinto como empresa estatal, tenía en operación la fundición de antimonio, al privatizarla se cerró esa sección al no presentarse interesados en adquirirla y sus instalaciones continúan hasta la fecha sin operar.

Felizmente otra empresa, COMISAL, retomó la iniciativa de continuar volatilizando y produciendo trióxido de antimonio para procesar su propia producción de concentrados en una decisión empresarial muy riesgosa, pero al mismo tiempo, muy oportuna porque alcanzó a tener sus instalaciones en plena capacidad de producción justamente en el momento en que la cotización del antimonio recuperó sus altas cotizaciones, mientras que la planta de Vinto continúa parada, mostrándonos la necesidad de que aún en las grandes corporaciones, el modelo de la autogestión de cada operación adoptado en Chile por Codelco es importante para delegar responsabilidades administrativas y técnicas a los ejecutivos emprendedores de cada empresa.

En el campo del antimonio podemos todavía incursionar en el desarrollo de nuevos productos con mayor valor agregado como lo habíamos planteado en nuestra Revista Metalúrgica No 20.

## 7. RECURSOS EVAPORÍTICOS

Los recursos evaporíticos de Sud-América se encuentran en las cuencas depresivas del altiplano entre las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes. Estos recursos se encuentran en el sud oeste de Bolivia, norte de Chile, Nor-oeste de Argentina y en menor proporción en el sud del Perú.

Los salares más importantes son el Salar de Uyuni (Bolivia), el salar de Coipasa (Bolivia), el Salar de Atacama (Chile) y el salar del Hombre Muerto (Argentina).

El salar de Uyuni con un área de casi 10.000 Km<sup>2</sup> es la formación evaporítica más grande de Bolivia y del mundo. Otros salares importantes del país son el salar de Coipasa, Empexa, Chiguana, Challviri, Capina, Pastos Grandes y Laguani.

Las salmueras de los salares contienen grandes cantidades de sales disueltas, principalmente cloruros, sulfatos, boratos y carbonatos de sodio, potasio, magnesio, litio, etc. Los salares también contienen grandes cantidades de sales cristalizadas como la sal común (cloruro de sodio), trona (carbonato de sodio y bicarbonato de sodio), mirabalita (sulfato de sodio), ulexita (borato doble de sodio y calcio), etc.

## Salmueras

Las empresas, más importantes del mundo, que producen compuestos de litio son la FMC Lithium Division (en el salar del Hombre

Muerto en Argentina y en Silver Peak, Nevada, en Estados Unidos), La Chemetall Foote (en el Salar de Atacama), y la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM), (también en el Salar de Atacama). Todas ellas producen compuestos de litio a partir de salmueras, debido a que los costos de producción son más bajos comparados con la producción a partir de menas de litio. A nivel mundial prácticamente ya nadie produce compuestos de litio a partir de menas.

Bolivia a pesar de tener las mayores reservas de litio en salmueras, no produce nada de litio, por diversas razones entre las cuales podemos citar:

- a) Existe una sobreoferta de compuestos de litio en el mercado actual.
- b) Las empresas que dominan el mercado tienen yacimientos propios en los salares más importantes del mundo, por lo que no hay empresas interesadas en invertir en el rubro en nuestro País.
- c) El riesgo país de Bolivia es muy alto y todavía queda el recuerdo del fracaso de la licitación de 1990, del salar de Uyuni. La Lithco, quien estuvo a punto de adjudicarse la explotación del salar de Uyuni, se fue al salar del Hombre Muerto en Argentina donde le dieron mejores condiciones y mayor seguridad que en Bolivia.
- d) El gobierno no tiene políticas de desarrollo para aprovechar los recursos evaporíticos, ni los recursos económicos para ello.
- e) Se requiere de una adecuación tecnológica para la explotación del litio del Salar de Uyuni pues comparado con el Salar de Atacama tiene menor concentración de litio y una mayor razón Mg/Li que aumentaría el costo de procesamiento.

Sin embargo, utilizando un programa de explotación integral, mediante procesos de cristalización fraccionada y precipitación iónica, a partir de las salmueras se pueden obtener: cloruro de sodio, cloruro de potasio, sulfato de potasio, ácido bórico, carbonato de litio e hidróxido de litio. La mayor parte de los reactivos necesarios, como la trona, piedra caliza para la fabricación de cal, etc., se encuentran en la región de los salares.

Por otro lado, tanto la línea férrea como el camino que conecta al salar de Uyuni con Antofagasta actualmente se encuentran en buenas condiciones, además, se prevé que pronto esa región contará con energía, pues el proyecto San Cristóbal se encuentra muy cerca del salar de Uyuni.

## Boratos

Bolivia posee una importante cantidad de las reservas mundiales de boro en forma de ulexita y de boratos disueltos en las salmueras de los salares.

A pesar de contar con grandes reservas de minerales de boro, la producción nacional es mucho menor que la de nuestros vecinos Argentina y Chile que tienen reservas comparables a la nuestra.

En la actualidad, solamente una planta le da valor agregado a los minerales de boro en Bolivia. La Empresa Tierra S.A., fabrica ácido bórico a partir de ulexita del Salar de Capina y ácido sulfúrico importado desde Chile en su Planta de Apacheta en la provincia

Sud LÍpez del departamento de Potosí. La planta produce alrededor de 10.000 ton/año de ácido bórico, que exporta a diferentes partes del mundo.

La Empresa Tierra S.A., es un ejemplo de cómo pueden abrirse nichos de mercado, en un mundo tan competitivo como el actual, mediante calidad y precios competitivos.

Debido al elevado costo del ácido sulfúrico la Carrera de Metalurgia de la Universidad Técnica de Oruro conjuntamente con la Empresa Tierra S.A. ha desarrollado a nivel de planta piloto una tecnología que sustituye el ácido sulfúrico por azufre. El azufre es un recurso que existe en gran cantidad cerca de la Planta de Apacheta. Con esta tecnología los costos de producción de ácido bórico se reducen bastante y se mantiene la calidad del producto.

El yacimiento de Río Grande es el yacimiento de boro más grande del país. Actualmente toda la ulexita que se explota de este yacimiento es exportado sin ningún valor agregado, solamente es sometido a un proceso previo de calcinación, mediante el cual se eliminan las moléculas de hidratación de la ulexita y se enriquece el contenido de  $B_2O_3$  de la misma.

## 8. DESARROLLO MINERO SUSTENTABLE

Hasta hace poco tiempo atrás se consideraba que las operaciones mineras (desde la exploración hasta la comercialización), no podían considerarse como adecuadas para un desarrollo sustentable porque

se relacionan con la explotación de un recurso no renovable que tarde o temprano debe agotarse, por tanto, no apto para promover un desarrollo sustentable.

Esta concepción sobre la minería y sus actividades conexas fue dominante en organismos dependientes del Banco Mundial, gracias al amplio despliegue de esfuerzos de organizaciones ecologistas que veían en la minería una actividad con fuerte impacto ambiental y como resultado de ello el Banco Mundial, restringió sus programas de financiamiento para ese sector principalmente en países emergentes.

Los resultados de esa política es que se frenó el desarrollo y se produjeron cierre de minas causando niveles de desempleo muy altos como los que se registraron precisamente en Bolivia, siendo necesario numerosas conferencias internacionales y discusiones en diferentes escenarios para empezar a reconocer que el concepto de desarrollo sustentable también podían aplicarse en minería, si lo que se busca es que en el área se proteja el medio ambiente y se crean condiciones que permitan el mantenimiento de una calidad de vida global sustentable.

Para alcanzar ese modelo de desarrollo sustentable en la explotación de recursos no renovables, es necesario cambiar la concepción de los proyectos mineros a través de una alianza estratégica entre los promotores del proyecto minero y las organizaciones y autoridades regionales conforme lo sintetiza el siguiente esquema:

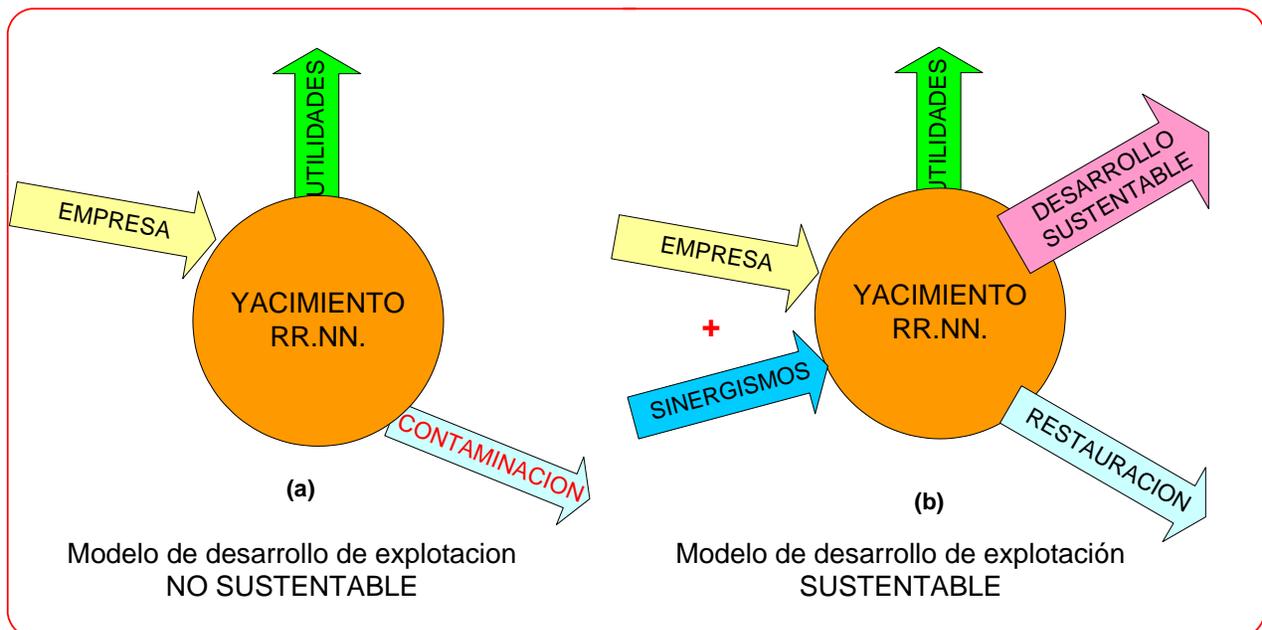


Figura 7. Modelos de desarrollo de explotación

En el modelo tradicional de desarrollo de un proyecto minero, el promotor (llámese empresa), utiliza capital y tecnología adecuadamente dimensionada y seleccionada para explotar el yacimiento y obtener productos que comercializados generan utilidades generalmente exportables dejando en el área impactos ambientales y un deterioro de la calidad de vida global, respecto a la imperante antes del inicio del proyecto cuando se produce el cierre del proyecto.

En el nuevo modelo de desarrollo sustentable, el promotor utiliza su capital, su tecnología y los sinergismos que le son conexos para explotar el yacimiento, obtener los productos comerciables que generan las utilidades, pero bajo una alianza estratégica negociada y concertada con la región y sus autoridades, utiliza sus sinergismos y eventualmente parte de sus utilidades para generar otras actividades que si son sustentables y que permitan alcanzar un nivel de calidad de vida que seguramente será inferior al del proyecto en pleno desarrollo, pero en todo caso será mejor al que imperaba antes de iniciado el proyecto y además será sostenible una vez que se produzca el cierre de operaciones.

Para que el modelo propuesto no sea lírico es necesario formular un buen plan de desarrollo sustentable para el área del proyecto que pueda utilizar el sinergismo asociado al promotor del proyecto, pueden existir muchos modelos de cómo lograrlo dependiendo de la capacidad de negociación y de las necesidades de desarrollo, un ejemplo podría ser que el promotor incluya en sus planes de inversiones el pago anticipado de utilidades o impuestos presuntos que serían financiados como parte del financiamiento global que los Bancos concederán al proyecto, con esos fondos la región puede encarar un verdadero proyecto de desarrollo sustentable.

El modelo también es aplicable a pequeños emprendimientos que no gozan de los grandes financiamientos bancarios, si se tiene la capacidad de concertar alianzas de beneficio mutuo, lo que permitirá tener la licencia social para dar la seguridad jurídica que es necesaria para garantizar el desarrollo del proyecto.