



Manejo ambiental en la pequeña minería

Hermann Wotruba

PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DEL MEDIO AMBIENTE
EN LA PEQUEÑA MINERÍA

Felix Hruschka

PROYECTO MINERÍA SIN CONTAMINACIÓN

Thomas Hentschel

PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DEL MEDIO AMBIENTE
EN LA PEQUEÑA MINERÍA

Michael Priester

PROJEKT-CONSULT GmbH



Manejo Integrado del Medio Ambiente
en la Pequeña Minería
MEDMIN



Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación
COSUDE

Manejo ambiental en la pequeña minería

Manejo ambiental en la pequeña minería

Aspectos y estrategias generales;
medidas técnicas para reducir la contaminación
tomando como ejemplo el uso del mercurio
en la pequeña minería aurífera

AUTORES:

Hermann Wotruba

PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DEL MEDIO AMBIENTE
EN LA PEQUEÑA MINERÍA

Felix Hruschka

PROYECTO MINERÍA SIN CONTAMINACIÓN

Thomas Hentschel

PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DEL MEDIO AMBIENTE
EN LA PEQUEÑA MINERÍA

Michael Priester

PROJEKT-CONSULT GmbH

EDICIÓN:



Manejo Integrado del Medio Ambiente
en la Pequeña Minería
MEDMIN



Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación
COSUDE

La Paz, Bolivia, 1998

DIRECCIONES:

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)

Sección Medio Ambiente, Bosques, Energía
Eigerstrasse 73,
CH-3003 Berna, Suiza
Tel: ++41 31 325 92 93
Fax: ++41 31 325 93 62
e-mail: info@deza.admin.ch

COSUDE Bolivia

Casilla 4679, La Paz, Bolivia
Tel: ++591 2 340168 - 356140
Fax: ++591 2 375042
e-mail: lapaz@sdsc.net

COSUDE Ecuador

Casilla 17.16.355, Quito, Ecuador
Tel: ++593 2 433 236 - 459 370
Fax: ++593 2 433 150
e-mail: quito@sdsc.net

Programa: Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería (MEDMIN)

Casilla 4679, La Paz, Bolivia
Tel: ++591 2 323174
Tel/Fax: ++591 2 359409
Tel/Fax: ++591 811 2337
e-mail: medmin@medmin.rds.org.bo
homepage: <http://coord.rds.org.bo/miembros/medmin/index.html>

Projekt-Consult GmbH

Limburgerstrasse 28
D-61462 Königstein, Alemania
Tel: ++49 6174 24031
Fax: ++49 61 74 22985
e-mail: Projekt-Consult@t-online.de
homepage: <http://www.projekt-consult.de>

Proyecto Minería Sin Contaminación (PMSC)

Fundación CENDA
Casilla 11-01-24, Loja, Ecuador
Tel: ++593 7 573 209 - 575 141
Fax: ++593 7 575 142
e-mail: cenda1@fundcenda.org.ec

© Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería (MEDMIN)
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 1998.
ISBN: 3-905399-71-7
D.L.: 4-1-192-98

Producción: CID - Plural editores
Pasaje Jáuregui N° 2248, piso 2
Teléfonos/Fax 312193 - 311708
Casilla Postal: 5097, La Paz, Bolivia
E Mail: plural@caoba.entelnet.bo

Impreso en Bolivia

INDICE

Presentación	15
Prólogo	17
1. Introducción	19
1.1. Definición del sector	20
1.2. Minería como ejemplo de pequeña industria	21
1.3. Situación actual y significado de la pequeña minería	22
1.4. Distribución global de la pequeña minería	24
2. Costos y beneficios de la pequeña minería	27
2.1. Dificultades generales que se presentan al analizar los costos y beneficios	28
2.2. Costos y beneficios	29
2.3. Resultados de un estudio comparativo sobre la pequeña y mediana minería en Ecuador	35
3. Problemática ambiental de la pequeña minería	37
3.1. Riesgos ambientales	37
3.2. Falta de control/fiscalización	42
3.3. Situación deficiente de la salud ocupacional	43
3.4. Causas de los problemas	44
4. Gestión ambiental para una pequeña minería sostenible	51
4.1. Sostenibilidad de la minería	51
4.1.1. El concepto de reservas minerales	51
4.1.2. Materia prima y el término “no-renovable”	53
4.1.3. Aspectos referentes a la sostenibilidad de la minería	54
4.2. Marco conceptual de la Gestión Ambiental	54
4.2.1. Agenda 21	54
4.2.2. La gestión ambiental según las normas ISO 14.000 y siguientes	57

4.3. Gestión Ambiental: interacción de requerimientos ambientales; exigencia y cumplimiento	57
4.3.1. Requerimientos ambientales	59
4.3.2. Factores que influyen en el cumplimiento	60
4.3.3. Promoción de cumplimiento	62
4.3.4. Opciones “win-win” para el cumplimiento ambiental	64
4.3.5. Exigencia: respuesta ante el incumplimiento	66
4.4. Gestión ambiental a nivel de la empresa	68
4.4.1. Prácticas sanas de gestión	68
4.4.2. Obligaciones ambientales en las diferentes fases de un proyecto minero	70
4.5. Gestión ambiental en la pequeña minería	72
5. La amalgamación en la pequeña minería aurífera y posibilidades de mejoramiento	81
5.1. Distribución regional de la pequeña minería aurífera	81
5.2. Características generales del mercurio y su impacto ambiental	81
5.2.1. Propiedades físico-químicas	81
5.2.2. Orígenes, extracción, producción y uso	83
5.2.3. Emisiones	85
5.2.4. La cadena alimenticia y el hombre	86
5.2.5. Evaluación del peligro y límites para las concentraciones	87
5.2.6. Los impactos medio ambientales del mercurio	88
5.2.7. Los impactos del mercurio sobre la salud	90
5.3. La amalgamación como técnica de procesamiento. Situación actual	92
5.3.1. Historia y antecedentes técnicos	92
5.3.2. La aplicación de la amalgamación en la pequeña minería aurífera	94
5.3.2.1. Procesos aplicados de amalgamación	94
5.3.2.1.1. Amalgamación in situ	96
5.3.2.1.2. Amalgamación en canaletas	96
5.3.2.1.3. Amalgamación en molinos	97
5.3.2.1.4. Amalgamación en concentradores centrífugos	97
5.3.2.1.5. Amalgamación en amalgamadores tipo “jackpot”	98
5.3.2.1.6. Amalgamación con planchas amalgamadoras	98
5.3.2.1.7. Amalgamación manual	99

5.3.2.1.8.	Amalgamación en tambores amalgamadores	100
5.3.2.2.	Procesos aplicados a la separación de amalgama y minerales acompañantes	100
5.3.2.3.	Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama	101
5.3.2.3.1.	Prensas de amalgama	101
5.3.2.3.2.	Centrífugas	102
5.3.2.4.	Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio	102
5.3.2.4.1.	Separación térmica	102
5.3.2.4.2.	Separación química	103
5.3.3.	Pérdidas de mercurio durante los procesos tradicionales	103
5.4.	Estrategias y recomendaciones para evitar o reducir la contaminación por mercurio	107
5.4.1.	Estrategias principales y básicas	107
5.4.2.	Limitar el uso de la amalgamación mediante la optimización de la concentración gravimétrica	108
5.4.2.1.	Técnicas y máquinas gravimétricas aptas para una minería menos contaminante	111
5.4.2.1.1.	Bateas para oro	111
5.4.2.1.2.	Canaletas (canalones, lavaderos, cajas, tame, etc.)	113
5.4.2.1.3.	Jigs	118
5.4.2.1.4.	Mesas concentradoras	118
5.4.2.1.5.	Concentradores de espiral	122
5.4.2.1.6.	Concentradores centrífugos	125
5.4.2.1.7.	Otros equipos de (pre-) concentración gravimétrica	129
5.5.	Optimización del proceso de amalgamación	132
5.5.1.	Reducción de la “harina de mercurio” producida	133
5.5.1.1.	Métodos para limpiar y activar mercurio	135
5.5.1.2.	Uso de la amalgamación manual	137
5.5.1.3.	Uso de planchas amalgamadoras	138
5.5.1.4.	Uso de Tambores amalgamadores	138
5.5.2.	Técnicas para recuperar mercurio de un circuito abierto	142
5.5.3.	Las colas de amalgamación	144
5.5.3.1.	Depósitos para colas contaminadas	145
5.5.3.2.	Métodos de limpieza de colas contaminadas	146

5.5.4. Técnicas para recuperar amalgama de un concentrado	147
5.5.4.1. Batea	147
5.5.4.2. Hidroseparator (elutriador)	147
5.5.4.3. Batea mecánica	149
5.5.4.4. Otros equipos para separar amalgama de las colas de amalgamación	149
5.5.5. Técnicas para separar oro y mercurio amalgamados	150
5.5.5.1. Retortas para la destilación de mercurio	150
5.5.5.2. Disolución con ácido nítrico	152
5.5.5.3. Campana y filtro	153
5.6. Procesos y métodos alternativos	154
5.6.1. Aplicación de la cianuración en la pequeña minería aurífera y sus riesgos ambientales	154
5.6.1.1. Tecnologías artesanales de cianuración	155
5.6.1.2. Impactos ambientales de la cianuración	157
5.6.2. Flotación	158
5.6.3. Otras alternativas técnicas	159
5.6.3.1. Separación magnética	159
5.6.3.2. Separación por fundición ("Fundición directa")	160
5.6.3.3. Calcinación y aventamiento	161
5.6.3.4. Separación por soplado	161
5.6.3.5. Trituración selectiva	161
5.6.3.6. Selección balística	162
5.6.3.7. Aglomeración carbón - oro	162
5.6.3.8. Proceso oro - parafina	162
5.6.3.9. Disolución de sulfuros con ácido nítrico	163
5.7. Selección de posibles soluciones	163
6. Organización de proyectos: aspectos metodológicos	173
6.1. Fase de planificación/preparación	173
6.1.1. Métodos de planificación	174
6.1.2. Condiciones generales importantes organización de proyectos: aspectos metodológicos	174
6.1.3. Areas de intervención	176
6.1.4. Grupo meta	178
6.1.5. Instituciones involucradas	179
6.2. Fase de ejecución	182
6.2.1. Concientización	182

6.2.2.	Capacitación	184
6.2.3.	Difusión e implementación de soluciones técnico-ambientales	186
6.2.4.	Aspectos de género	195
6.2.4.1.	Consideraciones generales	195
6.2.4.2.	Particularidades del sector minero	196
6.2.5.	Sostenibilidad institucional	199
6.2.6.	Participación	200
6.2.7.	Control de calidad	202
6.2.7.1.	Manejo de riesgos	202
6.2.7.2.	Monitoreo y evaluación	204
6.2.7.3.	Adaptación flexible de la concepción del proyecto	205
7.	Ejemplos de proyectos realizados	213
7.1.	Bolivia Programa “Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería” (MEDMIN)	213
7.1.1.	Presentación de MEDMIN	213
7.1.2.	Problemática del mercurio, soluciones y su difusión	221
7.1.2.1.	Caracterización de la pequeña minería aurífera en Bolivia	222
7.1.2.2.	Procesamiento tradicional	223
7.1.2.3.	Técnicas mejoradas	229
7.2.	Brasil: Proyecto “Mercury Contamination from Gold Mining in the Tapajós and Madeira River Basins, Brazilian Amazonia”	236
7.2.1.	Presentación del Proyecto	236
7.2.1.1.	Área de trabajo	236
7.2.1.2.	Organizaciones involucradas	239
7.2.2.	Minería aluvial: cambios y soluciones integradas	240
7.3.	Ecuador: Proyecto Minería sin Contaminación (PMSC). Estudios colectivos de impacto ambiental	245
7.3.1.	Presentación del Proyecto	245
7.3.2.	El eje central del proyecto: El Plan ECO+	252
7.3.3.	Implementación del Plan ECO+	256
7.3.4.	Reproducción del Plan ECO+ en otras regiones	260
7.3.5.	Sostenibilidad del PLAN ECO+ y autogestión	262

Notas	269
Anexos	277
Anexo 1: Flujogramas de plantas de beneficio en la pequeña minería aurífera primaria de Bolivia	279
Anexo 2: Resumen del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Colectivo "Plan ECO+" en Ecuador	287
Anexo 3: Norma técnica: El uso del mercurio en la minería	299

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Participación de la pequeña minería en la producción mundial de materias primas seleccionadas, según Noetstaller	23
Tabla 2: Principales países con pequeña minería, con materias primas explotadas a través de pequeñas industrias, según Nötstaller	24
Tabla 3: Diversos aspectos de los costos y beneficios de la pequeña minería en los países en desarrollo	30
Tabla 4: Impactos ambientales causados por la pequeña minería	40
Tabla 5: Aspectos de una minería sostenible en niveles diferentes	56
Tabla 6: Ejemplos de win-win-options en la minería y la fundición	65
Tabla 7: Respuestas y sanciones ante el incumplimiento de requerimientos ambientales	67
Tabla 8: Diversas etapas de un proyecto minero y su relación con las obligaciones de protección ambiental	71
Tabla 9: Los tres pilares de gestión ambiental para la pequeña minería	72
Tabla 10: Gestión ambiental a nivel empresarial en la pequeña minería	74
Tabla 11: Producción mundial de mercurio (por país:), en toneladas	84
Tabla 12: Valores límites de mercurio	87
tabla 13: Valores promedios de mercurio en ríos	89
Tabla 14: Valores promedios de mercurio en peces	89
Tabla 15: Principales procesos de amalgamación utilizados en la pequeña minería aurífera	95
Tabla 16: Comparación esquematizada de procesos con y sin amalgamación en operaciones típicas	110
Tabla 17: Alternativas para la selección de diferentes productos en una concentradora espiral	125
Tabla 18: Fuentes de metales pesados en soluciones de lixiviación con cianuro	158

Tabla 19: Criterios para ponderar las propuestas de las soluciones técnicas	165
Tabla 20: Posibles componentes de un proyecto minero-ambiental	176
Tabla 21: Esquema de los posibles medios disponibles para fomentar innovaciones ambientales en la pequeña minería	177
Tabla 22: Niveles de intervención para los proyectos en el área de minería y medio ambiente	180
Tabla 23: Objetivos de la capacitación	185
Tabla 24: Condiciones locales en áreas mineras	186
Tabla 25: Aspectos importantes que caracterizan una institución sostenible	200
Tabla 26: Emisiones, causas y posibles soluciones en la pequeña minería aurífera primaria de Bolivia	227
Tabla 27: Resumen de los equipos y procesos anteriores y los cambios realizados por MEDMIN en varias minas primarias auríferas en Bolivia (años 1996/97)	235
Tabla 28: Cambios tecnológicos del Proyecto Mercurio	242
Tabla 29: Parámetros metalúrgicos y ambientales	250

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Comparación generalizada entre los diferentes ramos de la minería respecto a costos y beneficios	35
Ilustración 2: El aporte macroeconómico bruto, el pasivo ambiental y el aporte macro-económico neto de la pequeña minería informal, de la pequeña minería formal y de la minería mediana en US\$/t de producción de mineral; caso de la minería aurífera en el Ecuador	36
Ilustración 3: Impactos ambientales posibles generados por los diferentes sistemas de explotación de minerales auríferos aluviales	38
Ilustración 4: Impactos medioambientales generados por la concentración de materiales auríferos	39
Ilustración 5: Concepto de reservas, recursos potenciales y recursos hipotéticos	52
Ilustración 6: Entrada y circuito del mercurio en el ecosistema debido a la minería del oro	88
Ilustración 7: Condiciones generales de importancia para el desarrollo de proyectos para la producción de materias primas	175

Ilustración 8:	Los tres aspectos importantes de la capacitación	184
Ilustración 9:	Métodos y efectos de la participación en proyectos	201
Ilustración 10:	“Portafolio de los riesgos”	203
Ilustración 11:	Organigrama MEDMIN	220
Ilustración 12:	Estrategia de Difusión de Conceptos Medioambientales e Implementación de Tecnologías MEDMIN	221
Ilustración 13:	Ubicación de la región Zaruma/Portovelo	246
Ilustración 14:	Diagrama de flujo generalizado de las plantas de beneficio en la región Zaruma/Portovelo	249
Ilustración 15:	Esquema de interacción institucional del Plan ECO+	255
Ilustración 16:	Esquema de individualización del plan de manejo ambiental	258
Ilustración 17:	Estadística de las afiliaciones al Plan ECO+ en el período de diciembre 1996 hasta febrero 1997	261

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

1.	Minería aluvial: erosión (valle río Tipuani, Bolivia)	45
2.	Minería aluvial: destrucción del paisaje (Huaypetue, Perú)	45
3.	Minería aluvial: alteración de los causes de los ríos (río Tipuani, Bolivia)	46
4.	Minería aluvial: enlodamiento de los ríos (confluencia río Consata, con minería y río Camata, sin minería, Bolivia)	46
5.	Minería aluvial: lagunas restantes (Coop. Tupara, Bolivia)	47
6.	Minería aluvial: descarga de colas al río (Kabaketa, Colombia)	47
7.	Minería primaria: depósito inapropiado de colas (Mina Concepción, Bolivia)	48
8.	Minería primaria: aguas ácidas de mina (Mina San Francisco, Poopo, Bolivia)	48
9.	Descarga de sólidos finos (material molido) a los ríos (Potosí, Bolivia)	49
10.	Minería primaria: planta de flotación con descarga al río (río La Ribera, Potosí, Bolivia)	49
11.	Minería primaria: descarga de colas a los alrededores (Coop. Huayna Potosí, Bolivia)	50
12.	Minería primaria: planta de percolación (lixiviación con cianuro) (Portovelo, Ecuador)	50
13.	Minería primaria: río Calera con plantas de lixiviación (Portovelo, Ecuador)	75

14. Amalgamación manual (con una piedra chica dentro de una grande, la piedra grande ya fue utilizada para este propósito en el tiempo de la Colonia) (Coop. Kantuta, Bolivia)	75
15. Amalgamación manual (dentro de una batea metálica grande) (Zaruma, Ecuador)	76
16. Amalgamación “a pie” (río Madre de Dios, Bolivia)	76
17. Molino Trapiche con planchas amalgamadoras (Coop. La Suerte, Bolivia)	77
18. Molino a martillos con planchas amalgamadoras (San Simón, Bolivia)	77
19. Molino a piones con planchas amalgamadoras (Mina Los Guavos, Nariño, Colombia)	78
20. Molino/amalgamador de piedra (típicamente trabajo de niños o mujeres) (Nazca, Perú)	78
21. Amalgamador tipo “jackpot” después de molino a martillos (Cerro Azul, Tapajós, Brasil)	79
22. Amalgamación en concentradores centrífugos (km 88, Venezuela)	79
23. Exprimir el mercurio líquido de la amalgama manualmente por un trapo (Coop. Tupara, Bolivia)	80
24. “Quema” de la amalgama al aire libre (río Madre de Dios, Perú)	80
25. Preparación de planchas amalgamadoras (Nariño, Colombia)	167
26. Harina de mercurio (escala: papel milimetrado)	167
27. Campana para la quema de amalgama y fundición de oro dentro de una casa de compra de oro (Puerto Maldonado, Perú)	168
28. Canelón (canaleta con cubierta de bayetas) (Zaruma, Ecuador)	168
29. Caixa (canaleta) experimental; alta turbulencia: tradicional, baja turbulencia: modificada (Piririma, Tapajós, Brasil)	169
30. Cobrinha (canaleta pequeña para enriquecimiento de preconcentrados) (Piririma, Tapajós, Brasil)	169
31. Canaletas con diferentes pisos (alfombras, metal expandido) para diferentes tamaños de carga clasificados por un tromel en la salidad de un molino a bolas (Coop. La Libertad, Bolivia)	170
32. Mesa concentradora (Coop. Cotapata, Bolivia)	170
33. Concentrador espiral con su producción de dos semanas de piritas auríferas, que antes se descargó junto con las colas al río (Coop. Kantuta, Bolivia)	171
34. Jig tipo “Denver Mineral Jig” en un circuito de molienda (Coop. La Suerte, Yani, Bolivia)	171
35. Tambor amalgamador (Coop. Virgen del Rosario, Bolivia)	172
36. Tambor amalgamador con rueda de agua (Mina Los Guavos, Nariño, Colombia)	172

37. Separador hidráulico (Coop. Cotapata, Bolivia)	207
38. Batea automática (Coop. La Libertad, Bolivia)	207
39. Retorta de fabricación rústica hecha de una lámpara de carburo (Coop. La Suerte, Bolivia)	208
40. Retorta de fabricación industrial (brasileira)	208
41. Retortas de fabricación local de diferentes tamaños (PMSC, Ecuador; MEDMIN, Bolivia)	209
42. Disolución de sulfuros con ácido nítrico (Coop. Huayna Potosí, Bolivia)	209
43. Río contaminado por basura, aguas servidas y colas de flotación (río La Ribera, Potosí)	210
44. Aceite usado de una compresora (Coop. La Libertad, Bolivia)	210
45. Emisión de polvo de cuarzo por molienda en seco (Mina Machacamarca, Bolivia)	211
46. Cerdos en el río Tarapaya (contaminado por aguas servidas y colas de flotación) (Potosí, Bolivia)	211
47. Mujeres seleccionando carga de yacimiento aluvial semiconsolidado ("cause antiguo") (Coop. Pallayunga, Bolivia)	212
48. Mujer seleccionando carga de minería primaria (Bolivia)	212
49. Mujer lavando oro aluvial con canaleta (Dep. Valle de Cauca, Colombia)	263
50. Niños lavando oro aluvial con batea (Coop. San José de Yani, Bolivia)	263
51. Campamento minero Nambija, Ecuador, después de desastrozo derrumbe	264
52. Campamento minero Cooperativa 15 de Agosto, Bolivia, 5.100 m s.n.m.	264
53. Filtro de carbón vegetal y lechada de cal para gases NO _x (Zaruma, Ecuador)	265
54. Perforación manual para la exploración de yacimientos aluviales (Tapajós, Brasil)	265
55. Relleno de barranco explotado con colas frescas (Piririma, Tapajós, Brasil)	266
56. Seminario con mineros (La Paz, Bolivia)	266
57. Demostración de retortas (Coop. Fátima II, Bolivia)	267
58. Fabricación local de equipo (SENTEC, Oruro, Bolivia)	267

Presentación

La importancia de la protección del medio ambiente en el marco de la ayuda al desarrollo es cada día mayor. La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) tiene un amplio programa de protección del medio ambiente para países en vías de desarrollo. Dicho programa tiene un enfoque especial en problemas ambientales con efectos globales.

En general, la problemática de la pequeña minería en países en vías de desarrollo es muy compleja; incluye aspectos legales, económicos, sociales y en especial medio ambientales. Actualmente la pequeña minería del oro es una actividad económica con una importancia creciente. Un problema serio derivado de esta actividad son las emisiones de mercurio. El uso no técnico e indiscriminado de mercurio en la minería artesanal constituye un alto riesgo para el medio ambiente. Debido a su alto potencial tóxico, la contaminación con mercurio tiene efectos graves sobre la salud de la población minera e indirectamente, por su incorporación en la cadena alimenticia, también en las comunidades cercanas y alejadas de las operaciones mineras. La persistencia de mercurio en el ecosistema amenaza las posibilidades de desarrollo de futuras generaciones.

Actualmente COSUDE está financiando dos programas, cuyo objetivo principal es mitigar las emisiones de mercurio producidas por la pequeña minería aurífera: el “Proyecto Minería sin Contaminación” en Ecuador, que tiene como contraparte a la organización no gubernamental Fundación Cenda y el “Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería” en Bolivia, en ejecución con el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

Las experiencias obtenidas en dichos proyectos constituyen la base de conocimientos que han permitido la elaboración de la presente publicación. El libro muestra la necesidad de un enfoque integral, que incluya aspectos legales, socioeconómicos, técnicos y ambientales para una exitosa implementación de medidas ambientales en la pequeña minería u otras pe-

queñas industrias. Espero que el contenido y los conceptos de esta publicación contribuyan a una mejor calidad de vida y a un desarrollo sostenible a través de la lucha contra la contaminación ambiental.

Walter Fust
EMBAJADOR
DIRECTOR DE COSUDE

Prólogo

Las actividades de la pequeña minería del oro ocasionan severos impactos ambientales en Bolivia con una gran cantidad de operaciones artesanales distribuidas en casi todo el territorio nacional. Estas operaciones se incrementan de una manera permanente con el consecuente incremento del deterioro ambiental, lo cual también incide directamente en la disminución de la calidad de vida de los miembros y de las poblaciones afectadas por las operaciones.

Uno de los principales problemas de la pequeña minería aurífera es el uso indiscriminado de insumos altamente contaminantes como el mercurio, aspecto que genera una profunda preocupación en el Gobierno Nacional.

El principal objetivo del plan de gobierno de la actual gestión administrativa es la lucha contra la pobreza, por lo cual, además de evitar la degradación del medio ambiente se deben generar oportunidades para el desarrollo de actividades económicas ambientalmente sostenibles, en la perspectiva de aplicar el paradigma del desarrollo sostenible. Sin embargo, el Estado tiene gran interés en impulsar la actividad productiva en todos los sectores sobre bases de sostenibilidad.

En dicho contexto, se ha establecido un convenio bilateral entre Bolivia y Suiza a través del cual se ejecuta el Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería (MEDMIN). La Dirección General de Medio Ambiente, Políticas y Normas del Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, es la instancia responsable, por parte del Estado boliviano, para la ejecución del programa, con el propósito de ofrecer mecanismos que permitan el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el día.

MEDMIN ha desarrollado una serie de técnicas en su tratamiento y está aplicando (en la mitigación de las emisiones del mercurio). Entre sus

resultados, hasta la fecha se ha logrado una disminución de 5 toneladas de emisiones de mercurio por año. En la actualidad, este programa está en una fase de expansión, con el propósito de lograr mayor difusión de sus experiencias, lo que llevará a Bolivia, en un futuro cercano, a lograr importantes avances en el control del problema del mercurio.

El presente libro, editado por MEDMIN, recoge las experiencias desarrolladas, con la esperanza de que pueda ser de utilidad para dar solución a los problemas ambientales ocasionados por la pequeña minería y que su repercusión no solamente se siente en Bolivia sino también en otros países con similares problemas.

Dr. Erick Reyes Villa B.
MINISTRO DE DESARROLLO
SOSTENIBLE Y PLANIFICACIÓN

Este manual presenta, en forma comprimida, una recopilación de las experiencias de varios proyectos de cooperación internacional en las áreas de protección al medio ambiente y manejo ambiental en la pequeña minería. Se considerarán tanto aspectos técnicos como organizativos y estratégicos.

La publicación se enfoca muy conscientemente hacia el lado empresarial de la protección ambiental, debido, entre otras causas, a que se ha reconocido que la pequeña minería es un sector cuyo control por parte de organismos estatales es muy difícil. Las razones se mencionarán más adelante. Para que sea posible el incremento del rendimiento ambiental de las empresas, se necesitan estrategias enfocadas hacia los productores, o sea a los originadores de los problemas ambientales. Es obvio que paralelamente se tendrán que adaptar los procesos legales-administrativos, por ejemplo simplificando las posibilidades de legalización y expedición de licencias. Pero no se tendrá mucho éxito limitándose tan sólo a medidas legales y administrativas. Esto ya ha sido demostrado por varios intentos en ese sentido que han fracasado (por ejemplo, prohibiendo la pequeña minería o el uso de mercurio en la pequeña minería).

Por este motivo, el presente texto está dirigido principalmente a planificadores y ejecutores de proyectos que tienen que ver con el manejo ambiental en la pequeña minería. También será de interés para personas que trabajan en protección ambiental a nivel de empresas o pequeña industria, ya que los métodos son en alto grado transferibles y aplicables a otros sectores de la industria.

Esta publicación está basada en las experiencias adquiridas en varios proyectos ejecutados por los autores por encargo de instituciones donantes internacionales: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) así como también las instituciones alemanas Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) y la Bundesanstalt für Geowissens-

chaften und Rohstoffe (BGR), al igual que la Comunidad Europea (CE) y otras organizaciones multilaterales. Estos proyectos fueron realizados en Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. Sin embargo, los autores consideran altamente viable la transferencia de estas experiencias a otros países, incluyendo el área africana y asiática.

1.1. Definición del sector

Mundialmente, la pequeña minería juega un papel nada despreciable tanto en las naciones industrializadas como en los países en desarrollo. Considerando que las definiciones de “pequeña minería” son diferentes en cada país, los criterios para su definición son: costos de inversión (p.ej. menores a US\$ 1.000.000), fuerza laboral (p. ej. hasta 100 personas), producción de mineral bruto (p.ej. menor a 100.000 t/a), ventas anuales, tamaño de concesión, situación de reservas, o combinaciones de estos criterios. La discusión al respecto está en marcha y aún no se ha alcanzado una delimitación única con criterios objetivos.

En consecuencia, la pequeña minería en países en desarrollo está identificada por criterios subjetivos, los cuales la hacen aparecer como una actividad artesanal:

- mecanización inexistente o escasa (uso de máquinas operadoras y motrices); por lo tanto, gran porcentaje de trabajo manual pesado^a
- bajo nivel de seguridad;
- deficiente grado de conocimientos técnicos del personal;
- ausencia de técnicos en la operación, lo cual trae como consecuencia una deficiente planificación técnica de la explotación minera y de procesamiento;
- utilización relativamente deficiente de los recursos debido a la explotación selectiva de minerales ricos, obteniendo baja recuperación en el procesamiento;
- explotación de recursos marginales;
- bajo nivel salarial
- bajo rendimiento del trabajo

a Sin embargo, también en la pequeña minería existen operaciones altamente mecanizadas. Un alto grado de mecanización e informalidad no necesariamente se excluyen.

- en parte, trabajo de minería solamente de acuerdo a la estación o sólo cuando los precios internacionales tienen un nivel conveniente
- insuficiente consideración de peligros para el medio ambiente
- ausencia crónica de capital.

Paralelamente a estos aspectos netamente de pequeña minería, hay otro de gran importancia:

- El trabajo se realiza en algunos casos en la ilegalidad, debido a la falta de derechos de concesión o licencia ambiental.

Esto hace necesaria la inclusión de estas empresas en el sector informal, lo cual adquiere relevancia ante el aspecto del control del impacto ambiental: frecuentemente estas empresas evaden conscientemente el control de los organismos estatales y, a su vez, la posibilidad de sanciones del Estado a estas empresas es bastante débil.

A menudo la pequeña minería puede incluso ser considerada como un sector industrial especialmente difícil de controlar y manejar; la razón se encuentra en la realidad geológica de los yacimientos que produce núcleos aislados y muy dispersos en la zona rural. Ejemplo contundente son las empresas mineras en los andes bolivianos, de las cuales varias se encuentran muy por encima de los 5.000 metros sobre el nivel del mar, y son solamente accesibles a pie, en caminatas de varios días (ver foto 52).

1.2. Minería como ejemplo de pequeña industria

La pequeña minería incluye muchos aspectos que también son típicos para la pequeña industria y sus empresas:

- las condiciones del entorno existentes no permiten el desarrollo; faltan grupos de interés e instituciones de fomento, son ineficientes o solamente representan los intereses particulares de algunos pocos miembros (1);
- los mercados de compra y venta se encuentran fragmentados, son poco transparentes o inaccesibles (1). A muchos de los productos (aunque esto no es válido para productos como el oro, por ejemplo) se les exige altos estándares/requerimientos de calidad y cantidad para poder competir en el mercado;
- falta de personal profesionalmente calificado. La insuficiencia de personal calificado y con experiencia práctica reduce tanto la productividad como la calidad (1).

- Las instalaciones y equipos son obsoletos o inapropiados para las condiciones locales; el acceso al conocimiento, la tecnología y las finanzas se ve dificultado o impedido (1). Muchos de los puestos de trabajo se destacan por ser extremadamente inseguros y peligrosos
- existe una gran variedad de empresas: desde aquellas artesanales (que no tienen ningún tipo de mecanización), pasando por las semi-mecanizadas y llegando incluso hasta algunas empresas totalmente mecanizadas
- frecuentemente trabajo de niños y mujeres en condiciones inhumanas.

También con respeto al manejo ambiental existen claras semejanzas entre la pequeña minería y la pequeña industria, sobre todo en que:

- en muchos países en desarrollo, las actividades artesanales e industriales –particularmente en el campo de la pequeña empresa– son altamente nocivas para el ser humano y para el medio ambiente;
- dispersa ubicación de las fuentes de contaminación;
- difícil control ambiental por parte del Estado;
- reglamentación legal deficiente o no aplicable en estos sectores;
- deficiente seguridad ocupacional e higiene de trabajo;

Para lograr la reducción de estos efectos negativos al medio ambiente y a la salud de los involucrados, y para que se cumplan los requerimientos usuales y legales, es indispensable la sensibilización, información, capacitación de los actores a todo nivel y la implementación de medidas técnicas ambientales.

1.3. Situación actual y significado de la pequeña minería

La pequeña minería adolece de un sinnúmero de problemas que dificultan, e incluso inhiben, el desarrollo hacia la modernización y tecnificación de las micro y pequeñas empresas.

La situación actual de la pequeña minería y de los mineros se define por sus relaciones de intercambio y conexión con áreas y factores muy diversos, tales como: la naturaleza, la cultura y el hombre, la técnica y la economía. La minería, a través de la explotación de recursos y perjuicios al medio ambiente, afecta a la naturaleza, extrayendo de ella, a su vez, energía y materias primas. La minería por un lado, la cultura y el hombre por otro, se han influenciado mutuamente desde tiempos inmemoriales. La minería

aportó los metales y piedras preciosas que influyeron fuertemente en la cultura. La minería es y ha sido una actividad que abre caminos para el desarrollo técnico y rural.

A pesar de estas difíciles condiciones de entorno, la pequeña minería posee mundialmente una posición relevante y aporta cantidades importantes a la producción minera mundial.

TABLA 1
PARTICIPACIÓN DE LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA PRODUCCIÓN MUNDIAL
DE MATERIAS PRIMAS SELECCIONADAS, SEGÚN NOETSTALLER (2)

METALES				MINERALES INDUSTRIALES			
berilio	100 %	hierro	12 %	fluorita	90 %	barita	60 %
mercurio	90 %	plomo	11 %	grafito	90 %	arena y grava	30 %
wolframio	80 %	zinc	11 %	talco	90 %	ladrillo	30 %
cromo	50 %	cobalto	10 %	vermiculita	90 %	sal	20 %
antimonio	45 %	oro	10 %	piedra pómez	90 %	carbón	20 %
manganeso	18 %	plata	10 %	feldespatio	80 %	asbesto	10 %
estaño	15 %	cobre	8 %	arcilla	75 %	fosfato	10 %
				yeso	70 %		

1.4 Distribución global de la pequeña minería

En un gran número de países en desarrollo en el mundo entero la pequeña minería se ha convertido en una importante fuente de ingresos y de divisas:

Tabla 2
PRINCIPALES PAÍSES CON PEQUEÑA MINERÍA, CON MATERIAS PRIMAS EXPLOTADAS
A TRAVÉS DE PEQUEÑAS INDUSTRIAS, SEGÚN NÖTSTALLER (2)

PAÍS	MATERIAS PRIMAS EXPLOTADAS A TRAVÉS DE LA PEQUEÑA MINERÍA
Latinoamérica	
Argentina	antimonio, asbesto, berilio, litio, mercurio, bismuto, wolframio
Bolivia	antimonio, plomo, oro, azufre, plata, wolframio, zinc, estaño
Brasil	berilio, cromita, oro, piedras preciosas, titanio, estaño
Chile	barita, plomo, oro, cobre, manganeso, mercurio, azufre, carbón
Rep. Dominic.	oro
Guatemala	antimonio, plomo, mica, manganeso, estaño, wolframio
Colombia	antimonio, plomo, cromita, piedras preciosas, hierro, oro, carbón, platino, mercurio, zinc
Cuba	cobre, manganeso, pirita
México	fluorita, mercurio, azufre, uranio, estaño
Perú	antimonio, diatomita, oro, cobre, manganeso, molibdeno, plata, bismuto, zinc, estaño, plomo
Venezuela	asbesto, diamantes, oro
Ecuador	oro
Asia	
Myanmar	antimonio, manganeso, estaño, wolframio
China	antimonio, hierro, carbón, estaño, wolframio
India	barita, boratos, hierro, mica, carbón, manganeso, estaño
Indonesia	oro, estaño
Irán	barita, plomo, cobre, zinc
Malasia	oro, hierro, manganeso, zinc, estaño, wolframio
Papúa-N. G.	oro
Filipinas	cromita, oro, carbón, cobre, plata, zinc
Tailandia	antimonio, estaño, wolframio
Turquía	plomo, cromita, cobre, magnesita, mercurio, zinc

PAÍS	MATERIAS PRIMAS EXPLOTADAS A TRAVÉS DE LA PEQUEÑA MINERÍA
Africa	
Argelia	antimonio, barita, diatomita, mercurio, zinc
Etiopía	oro, manganeso, platino
Gabón	oro
Ghana	diamantes, oro
Kenia	berilio, piedras preciosas, oro, cobre, plata
Lesotho	diamantes
Liberia	diamantes, oro
Madagascar	oro, tierras raras, bismuto
Marruecos	antimonio, barita, plomo, manganeso, zinc, estaño
Nigeria	asbesto, barita, plomo, oro, zinc, estaño
Ruanda	berilio, oro, estaño, wolframio
Sierra Leona	diamantes
Túnez	plomo, mercurio, zinc
Tanzania	diamantes, mica, oro, magnesita, piedras preciosas, estaño, wolframio
Uganda	berilio, bismuto, wolframio
Rep. Centroafricana	diamantes, oro
Zimbabwe	antimonio, berilio, cromita, piedras preciosas, oro, cobre, litio, manganeso, plata

A la pequeña minería en los países en desarrollo muchas veces se le reprocha explotar la riqueza nacional sin que su contribución a la economía nacional del país respectivo sea de importancia. Además, se la estigmatiza como “laga social” de la nación. Noticias sobre la miseria después del cese de la fiebre del oro en Acevedo do Peixoto, Brasil, parecen confirmar esta opinión. Una de las consecuencias fue que el gobierno tratara de aislar este sector e impedir su desarrollo. Sin embargo, en general esto fue lo único que sucedió, ya que las conocidas deficiencias ejecutorias en los países en desarrollo no permiten ejercer un control de la pequeña minería.

Los gobiernos muchas veces tienden a medir la pequeña minería de sus respectivos países con criterios diferentes a los propuestos en este capítulo. En muchos casos se sustenta la opinión de que la minería industrial de empresas multinacionales no tiene los problemas que se tiene con la pequeña minería. Una minería grande es más fácil de controlar, contribuye a la tributación y, tiene un lobby considerablemente fuerte debido a su poder económico y político. Por eso muchos gobiernos dan su preferencia a la minería grande y mediana (3).

Hoy en día, a escala mundial se enfrenta un renacimiento de la pequeña minería que obliga a los gobiernos reconocerla como realidad social. Por esto, recientemente en muchos países ha habido un cambio de actitud. Se incrementan los esfuerzos para abrir nuevos caminos a este sector informal e incluirlo en el sistema económico. Sin embargo, la discusión sobre los costos y beneficios de las actividades de la pequeña minería es un tema muy controvertido. Una de las causas es que existen muy pocos análisis sobre este sector y no se cuenta con indicios sobre los aspectos a ser examinados.

En la mayoría de los casos tenemos una balanza positiva si consideramos todos los costos y beneficios de la pequeña minería desde el punto de vista de la política de desarrollo, si bien la contribución monetaria directa

del sector, por ejemplo aportando impuestos, es baja. Los beneficios directos y colaterales de la pequeña minería muchas veces son tan importantes, que no es comprensible que en los países en desarrollo no se hagan **más esfuerzos por aceptar a este sector de la minería como un posible motor para el desarrollo en las regiones rurales, de fomentarlo adecuadamente y de ayudarlo a salir de la informalidad** para así incluirlo en la economía formal. Esto tiene validez solamente cuando la pequeña minería incluye una protección ambiental adecuada y condiciones de trabajo aceptables.

2.1. Dificultades generales que se presentan al analizar los costos y beneficios

Para poder desarrollar una base amplia de análisis es necesario incluir tanto los aspectos clásicos de la economía de un país, como los costos y beneficios sociales y ambientales. Debido a la deficiencia de los análisis tradicionales, también en Europa se trata de ampliar la base de análisis de los procesos económicos nacionales y globales. Un ejemplo son los estudios publicados por Ernst Ulrich von Weizsäcker sobre este tema (4). No obstante, al beneficio de un sistema de análisis más integrado se le opone el hecho de que varios de estos indicadores no clásicos no pueden ser cuantificados mediante un sistema de valuación monetario. Por consiguiente, es posible que los análisis de una misma situación puedan tener resultados divergentes porque se usan métodos diferentes para evaluar los criterios subjetivos.

Adicionalmente, un factor que dificulta muchas veces la transferencia de criterios que normalmente se pueden cuantificar o valorar, son las diferencias entre las economías de los diversos países. Un ejemplo son los datos que se refieren a la situación del mercado de trabajo: en los países industrializados los datos sobre el desempleo se refieren normalmente al desempleo abierto, mientras que en los países en desarrollo casi no existen datos confiables, porque no es posible recoger datos cuantitativos sobre los fenómenos típicos del desempleo escondido y del subempleo abierto o escondido.

Otro factor agravante es que en los países en desarrollo los aspectos sociales se ven bajo otras perspectivas; algunos aspectos tienen distintas prioridades que en los países industrializados, como un empleo seguro de tiempo completo, las responsabilidades del sector de la educación o la protección del medio ambiente. Por otra parte, debido a que en muchos países

el Estado cumple sus obligaciones sociales de manera insuficiente, se ha desarrollado una economía paralela o informal, que también incluye a la pequeña minería y especialmente a la minería artesanal, la cual ha podido y puede desarrollarse libremente al margen del sector formal.

Si bien este sector informal es poco deseable, en la mayoría de los casos el Estado no está en capacidad de ofrecer alternativas.

2.2. Costos y beneficios

Para un análisis de costos y beneficios es necesario tomar en cuenta cuatro aspectos principales:

- los aspectos geológicos,
- las consecuencias para el medio ambiente,
- los aspectos sociales y
- los aspectos económicos.

La Tabla 3 ofrece un cuadro sinóptico de estos aspectos, así como los costos y beneficios más importantes que se pueden obtener en estos cuatro campos.

Como estas condiciones locales básicas varían en cada caso, también variarán los resultados de una evaluación de los efectos de una explotación minera. Una explotación ubicada en el desierto del norte chileno ha de ser valorada de otra manera que una explotación situada en un bosque tropical.

No será necesario explicar todos los aspectos de costos y beneficios mencionados en la Tabla 3. Sin embargo, quisiéramos desarrollar algunos de ellos detalladamente:

Explotación de recursos marginales: Una de las ventajas especiales de la pequeña minería es la posibilidad de beneficiarse de colas y desmontes de explotaciones más grandes o de explotar reservas existentes en minas grandes abandonadas. Por ejemplo, una parte muy importante de la producción de estaño de la pequeña minería boliviana procede de colas de la empresa minera estatal COMIBOL, que en sus minas recuperaba sólo entre 40 y 50 por ciento de estaño. Actualmente las posibilidades de sobrevivencia de la pequeña minería de estaño en Bolivia se fundan en la explotación de reservas restantes en las minas y colas antiguas que COMIBOL traspasó a diversas cooperativas mineras. Algo similar pasa en el Ecuador con los relaves de la ex-compañía SADCO.

TABLA 3
**DIVERSOS ASPECTOS DE LOS COSTOS Y BENEFICIOS DE LA PEQUEÑA MINERÍA
 EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO**

COSTOS	BENEFICIOS
Costos geológico-mineros • explotación de un recurso no renovable • pérdidas, p.ej - por explotación irracional de material de alta ley - por explotación incompleta - por los métodos de tratamiento - por el transporte	Beneficios geológico-mineros • la posibilidad de explotar yacimientos más pequeños • la pequeña minería realiza prospección exitosa y sin grandes costos • explotación de pilares abandonados, colas, etc. • la pequeña minería encuentra yacimientos importantes en áreas remotas
Consecuencias para el medio ambiente • riesgos ambientales, emisiones y daños en: - la tierra - el suelo - el agua (subterránea y superficial) - el aire - la flora y fauna - fuentes de energía - ecosistemas	
Costos sociales • condiciones de trabajo precarias • consecuencias negativas para la salud (enfermedades, accidentes) • condiciones de vida infrahumanas • relaciones de dependencia complicadas • trabajo infantil • desarrollo desequilibrado entre hombres y mujeres (hombres disponen de los recursos económicos) • violación de derechos de comunidades residentes y comunidades indígenas • cambios en el sistema de valores éticos y sus consecuencias • seguridad social insuficiente	Beneficios sociales • calificación de mano de obra • fuente de ingresos (en dinero) • creación de puestos de trabajo
Costos macro-económicos • conflictos - debido a variaciones en el aprovechamiento de tierra, agua etc. - con el poder ejecutivo (conflictos judiciales) - con la minería a gran escala/industrial - con la población indígena - con los objetivos de la protección del paisaje (parques nacionales, naturales, etc.) • contrabando • ilegalidad (de los productos y de las ganancias) • no se generan impuestos • costos para controlar el sector • costos consecutivos causados por consecuencias sociales (salud, conflictos sociales, especulaciones, etc.) • desarrollo descontrolado causado por la explotación no planificada	Beneficios macro-económicos • movilización de recursos nacionales • recaudación de impuestos • efecto activador para la balanza de pagos • buffer para el mercado de trabajo en caso de programas de adaptación estructural • ofrece reservas de personal para la minería industrial • contribución al desarrollo económico regional por: - circulación monetaria (producto social) - inversiones - demanda de productos y prestaciones de servicio - movilidad - consecuencias estructurales (alternativa frente a la agricultura) • se evita el éxodo rural • desarrollo de la infraestructura (construcción de carreteras, escuelas, abastecimiento de energía) por la pequeña minería y población aledaña • ventajas financieras comparativas (producción con alto coeficiente de mano de obra en países con una gran oferta de mano de obra) • la oferta del producto es relativamente estable aún en caso de fluctuaciones del mercado • aporte a la diversificación de productos y de la exportación • sustitución de las importaciones

Explotación selectiva: La facilidad de explotación selectiva, debido a técnicas poco mecanizadas es por lo general más alta en la pequeña minería que en la mediana minería, lo cual frecuentemente es calificado como «high grading». Este argumento, sin embargo, pierde valor, si se toma en cuenta que esta selectividad permite el aprovechamiento de yacimientos (por ejemplo vetas menores a un metro) que no serían económicamente rentables para una minería a mayor escala. En cuanto al «high grading» durante los primeros años de operación hay que añadir, que esta práctica sobre todo es común en la mediana y gran minería bajo el concepto de maximización del valor del capital neto (“maximization of net present value”) y recuperación rápida de la inversión.

Consecuencias para el medio ambiente: Los costos ambientales de una pequeña mina generalmente son mayores que los de una explotación mediana e industrial en relación a la producción^a. Sin embargo, otro problema radica en el gran número de contaminadores y que, en muchos casos, están concentrados en regiones determinadas, dos factores que causan un impacto local extremadamente fuerte. Un ejemplo son las contaminaciones de mercurio causadas por la minería aurífera en la región de San Simón (Bolivia), un área de no más de 20 km x 5 km, que alcanzan alrededor de 25 toneladas por año (64). Un otro efecto grave puede tener, para los ríos grandes, la descarga de lodos causada por la minería aluvial concentrada.

Según Young 1993 (5), el 40% de los parques nacionales en el trópico están amenazados por actividades o proyectos mineros. Y en esto, curiosamente, la pequeña y mediana minería y la minería a gran escala no se diferencian en cuanto al peligro que significan para las áreas protegidas o a proteger.

Consecuencias sociales: En la pequeña minería existen relaciones muy evidentes entre unas condiciones de trabajo muy precarias, caracterizadas, aparte de una faena muy dura, por graves deficiencias de seguridad,

a No sólo en los países industriales, sino también en países en vías de desarrollo la minería grande es generalmente bien controlada y fiscalizada. Las minas grandes pertenecen en su gran mayoría a empresas mineras multinacionales, que tienen sus propias reglas y normas ambientales. Estos, para evitar problemas con la población (pero también con sus propios accionistas) son a veces más rígidas que los del país mismo. En relación a la producción (p. ej. para producir un kg de oro), el impacto ambiental de una mina grande moderna “state of the art” es significativamente más bajo que el impacto que produce la pequeña minería.

y las consecuencias extremadamente negativas para la salud, causadas directamente por intoxicaciones, accidentes, polvo (silicosis), etc., pero también, indirectamente, por la gran cantidad de agua estancada que en el trópico es lugar de incubación para anofeles y otros agentes patógenos.

La necesidad de una explotación rápida, la escasa disponibilidad de medios y la falta crónica de capital de inversión y operación, coloca a los pequeños mineros en complicadas relaciones de dependencia con intermediarios, terratenientes y propietarios de máquinas o con grupos que, de alguna manera, prefinancian la minería.

Se puede prever un desarrollo de criminalidad en aquellos lugares donde los pequeños mineros viven aglomerados en sitios aislados y a la expectativa de grandes ganancias (ver foto 51). Confrontaciones con la comunidad residente y con comunidades indígenas son frecuentes en regiones donde recién entra la minería. Debido a que la actividad minera requiere conocimientos técnicos y capital de inversión, la comunidad por lo general no está preparada para una participación equitativa. La «invasión» masiva o paulatina por la minería conlleva en todo caso un cambio en el sistema de valores éticos, que en casos extremos termina en la pérdida de control por parte del gobierno (p.ej.: Serra Pelada/Brasil, Muzo/Colombia, Nambija/Ecuador, Mindanao/Filipinas).

Beneficios sociales: Un aspecto muy importante es el **empleo de mano de obra poco cualificado**. Actualmente la pequeña minería genera empleo para más de 7 millones de personas en la explotación y la concentración de minerales, que se reparten por regiones como sigue (6):

en China ^a :	aprox. 3,4 millones de pequeños mineros
en otras partes de Asia y Oceanía:	aprox. 1,5 millones de pequeños mineros
en América Latina:	aprox. 1,3 millones de pequeños mineros
en Africa:	aprox. 0,9 millón de pequeños mineros

Para la mayoría de estos trabajadores la pequeña minería es muy atractiva pues los sueldos que ofrece son más altos que en los otros sectores alternos (por ejemplo, en la agricultura). Estas cifras de empleo en la pequeña minería sin embargo no incluyen los sectores que indirectamente se benefician o dependen de la actividad minera, como son el comercio, talleres, transportistas, etc. Además a esta cifra se debe sumar los familiares que dependen de los ingresos de la actividad minera. Así, considerando un fac-

a Principalmente minería de carbón.

tor de 2 para los sectores de infraestructura y un factor de 4 para representar los familiares dependientes, podemos concluir, que unos 50 millones de personas dependen a nivel mundial directamente o indirectamente de la actividad de la pequeña minería. Esto sin embargo todavía no incluye los efectos secundarios de generación de recursos.

Efectos económicos: El *contrabando* de productos y de los beneficios monetarios de la pequeña minería producen consecuencias negativas a la economía nacional. El contrabando de productos que tienen una alta concentración de valor es especialmente fácil. Por ejemplo, grandes cantidades de oro pasan de contrabando de Ghana a Togo y de Brasil a Uruguay, países que no tienen (o tienen pocos) yacimientos auríferos propios y que, sin embargo, registran una venta muy alta en su estadística de exportación. Con 400 millones de dólares por año, la producción de oro y diamantes de contrabando en Zaire sobrepasa considerablemente las exportaciones oficiales (300 millones de dólares). Sin embargo, en muchos casos no es posible descubrir el contrabando sobre todo porque se usa la producción de oro de la pequeña minería para lavar los beneficios del narcotráfico o, como en Angola, para cambiar diamantes por armas. El contrabando y la ilegalidad de muchas empresas de la pequeña minería significan una pérdida considerable de impuestos. Sin embargo, hay que resaltar que solamente una pequeña parte de estas actividades de transferencia son imputables a los pequeños mineros. La reducida producción de éstos no justifica el contrabando. Este es organizado, principalmente, por agrupaciones de intermediarios que se aprovechan de la informalidad de sus proveedores.

La informalidad de muchas empresas de la pequeña minería significa una evasión masiva de **impuestos**. Por otro lado, hay **ingresos por impuestos** que son en parte indirectamente pagados por la pequeña minería informal. Colombia, por ejemplo, impone una regalía de 3% a la producción aurífera, que en el momento de la comercialización es pagada también por los productores ilegales. De ella, un 66% regresa a la comunidad de origen como impuesto industrial. En Brasil las empresas del sector minero tienen que pagar impuestos sobre las ventas y compensación financiera por la explotación de recursos e, igual que en Colombia, una gran parte de estos dineros refluye a la comunidad de origen. Muchas comunidades en Latinoamérica financian sus presupuestos con impuestos generados por la pequeña minería. Por otro lado hay que considerar los ingresos por impuestos indirectos como el Impuesto al Valor Agregado (IVA), etc., generados por la actividad minera; ingresos fiscales generados en segunda instancia por el

capital en giro producido por la pequeña minería. Estos ingresos fiscales indirectos y renovables a lo largo del tiempo son más significantes para el presupuesto fiscal, que impuestos directos y no-renovables por concepto de regalías, patentes, concesiones, etc.

La razón para que se produzca el **efecto activador para la balanza de pagos** son los costos para inversiones y gastos de producción pagaderos en moneda nacional sobre productos y prestación de servicios nacionales. Como no existe una participación extranjera tampoco se produce un flujo de capital hacia el extranjero. La producción se vende ya sea directamente o en el mercado mundial, y así genera divisas o substituye importaciones, reduciendo de esta manera la transferencia de divisas al extranjero. Todo esto puede tener gran importancia para los países con pequeña minería, como lo demuestra el caso de Ecuador, donde, según informaciones del Banco Mundial, la pequeña minería legal e ilegal produce por encima del 90% de la producción aurífera nacional, es decir, unas 15 t/a según informaciones oficiales, y según informaciones extraoficiales, unas 30 t/a.

Una función esencialmente beneficiosa de la pequeña minería es la de **buffer para el empleo en el caso de medidas de ajuste estructural**. Un caso típico es Bolivia, donde después de la caída del cartel internacional del estaño, la empresa estatal COMIBOL cerró sus minas de estaño. En ese momento, la pequeña minería absorbió más de 20.000 mineros que habían perdido sus puestos de trabajo.

Otro beneficio son los **costos de producción muy bajos**, lo cual a su vez tiene como consecuencia una **oferta de productos relativamente estable** aún en caso de fluctuaciones de precio. Por ejemplo, la pequeña minería colombiana de carbón mineral puede producir carbón de coquerías de primera calidad por un valor entre 8 y 10 US\$, a pesar de una baja capacidad de explotación. Pero este beneficio económico tiene un alto costo social (trabajo de niños, condiciones de trabajo y vida infrahumanas) que es inaceptable. Los costos de producción muy bajos se basan también en una negligencia de todos los aspectos ambientales.

Finalmente, es necesario considerar también el aspecto de la **substitución de importaciones**, que es especialmente importante en el caso de algunos materiales producidos en cantidad para el mercado local. Así, en Indonesia unas 77.000 empresas con más de 350.000 mineros producen sobre todo piedras y tierras por un valor de 60 millones de US\$/a. En la India más de 3.000 pequeñas empresas, con más de 250.000 mineros, generan más de la mitad de la producción minera nacional.

Origen del problema: La mayoría de los efectos negativos de la pequeña minería en los países en desarrollo tiene su origen en problemas relacionados con la informalidad o ilegalidad o, simplemente, en el control insuficiente del sector. Si el Estado se esfuerza por legalizar las pequeñas empresas, gana por un lado la posibilidad de controlarlas y, por el otro, de sancionarlas por la falta del título legal o por sus impactos ambientales. Desafortunadamente, en muchos países la edición de leyes y directrices para la protección del medio ambiente, deseable en sí misma, es también la causa de nuevos peligros para el sector de la pequeña minería. En muchos casos la pequeña minería, cuya capacidad técnica y administrativa no es suficiente para cumplir con las normas, se encuentra continuamente forzada a la ilegalidad por los estamentos encargados de la protección del medio ambiente.

ILUSTRACIÓN 1
COMPARACIÓN GENERALIZADA ENTRE LOS DIFERENTES RAMOS
DE LA MINERÍA RESPECTO A COSTOS Y BENEFICIOS



La Ilustración 1 ofrece una comparación generalizada de los diferentes ramos de la pequeña minería con respecto a los costos y beneficios. Como extremos se contraponen la explotación de piedras y tierras por un lado y, por otro, las ramas altamente especulativas de la minería, como la minería aluvial y la explotación de placeres de piedras preciosas.

2.3. Resultados de un estudio comparativo sobre la pequeña y mediana minería en Ecuador

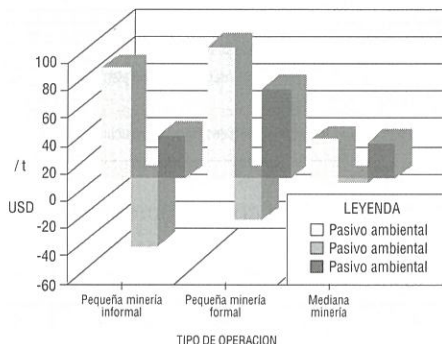
En un estudio realizado en Ecuador (7), se comparan tres ramas diferentes de la minería: la pequeña minería artesanal e informal; la pequeña minería formal; y la mediana minería formal moderna y mecanizada. Para

estas tres ramas de minería se determinó el aporte bruto a la economía nacional y el pasivo ambiental^a. Los resultados se presentan en la Ilustración 2.

Esto significa que, para las empresas con una producción de mineral comparable, el aporte bruto a la economía nacional de los dos subsectores de la pequeña minería está claramente por encima del aporte de la minería mediana. Estos números positivos se neutralizan parcialmente por los altos costos ambientales producidos por estos dos grupos: aquéllos producidos por el sector informal son los más altos, los de la minería mediana los menores. De esta forma, el mayor aporte neto a la economía nacional se debe a la pequeña minería formalizada. Sería interesante la elaboración de análisis similares para otras áreas de la minería al igual que una comparación de la pequeña minería con otras alternativas de trabajo en zonas rurales. Seguramente este tipo de estudios cuantificarían y documentarían las ventajas económicas de una minería pequeña organizada y ordenada, al igual que resaltarían que es rentable llevar a cabo proyectos de asesoramiento a la pequeña minería (8, 9).

ILUSTRACIÓN 2

EL APORTE MACROECONÓMICO BRUTO, EL PASIVO AMBIENTAL Y EL APORTE MACRO-ECONÓMICO NETO DE LA PEQUEÑA MINERÍA INFORMAL, DE LA PEQUEÑA MINERÍA FORMAL Y DE LA MINERÍA MEDIANA EN US\$/T DE PRODUCCIÓN DE MINERAL; CASO DE LA MINERÍA AURÍFERA EN EL ECUADOR (7)



- a Esta investigación incluye una serie de valores monetarios y factores que, en parte, son el resultado de estudios de caso en el Ecuador, y que también fueron complementados con datos sobre actividades de minería a nivel internacional, en países en vías de desarrollo. La investigación para la comparación de varias empresas mineras con parámetros definidos (capacidad instalada, disponibilidad, producción anual, vida útil, tasa de cambio, ley del mineral, precio del oro, recuperación y la distribución de costos entre personal, transporte, energía, administración y material) contenía: costos de inversión, costos de operación dividida entre costos nacionales e internacionales, ingresos, impuestos y regalías, utilidades, costos ambientales con impactos en el sistema hidrológico y la agricultura, factores para otros impactos y factores de tiempo.

La problemática ambiental de la pequeña minería tiene muchas facetas, y su origen está en los riesgos inherentes a la minería, en las condiciones generales de la pequeña minería, en la mentalidad de los mineros y en el notorio desconocimiento de los criterios ambientales.

3.1. Riesgos ambientales

La minería en general produce varios impactos en el entorno físico y social en todas sus etapas, tanto durante el reconocimiento geológico, la prospección, la exploración, como en la explotación, el beneficio y el cierre de las minas.

Para la minería en general, las organizaciones multi y bilaterales ya han desarrollado y publicado varios compendios de riesgos para el medio ambiente, los cuales se pueden consultar.

Lamentablemente estos compendios se refieren a la minería grande y tienen validez muy limitada para la pequeña minería (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

Como ejemplo se presentarán los impactos ambientales causados por la explotación en la minería aurífera aluvial (Ilustración 3) y por la concentración de materiales auríferos (Ilustración 4).

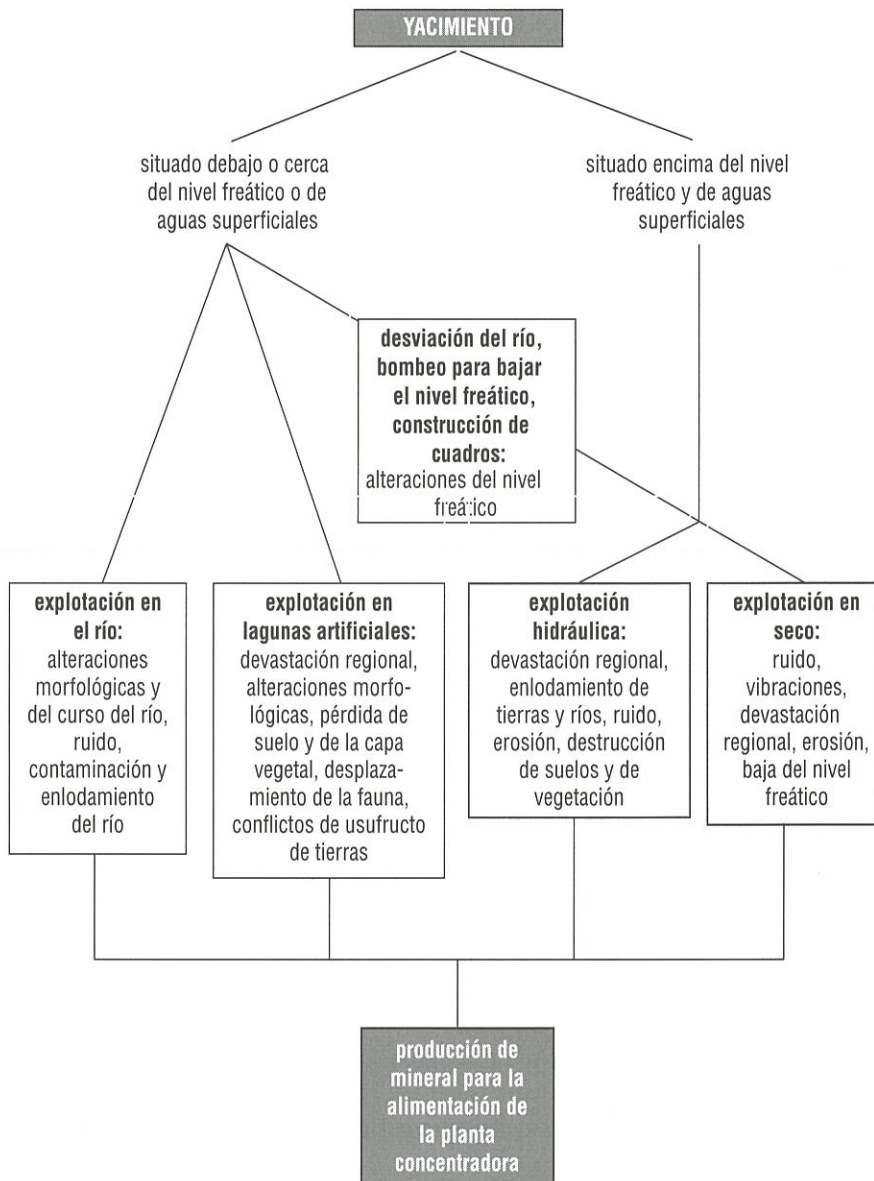
A estos riesgos directamente relacionados con la explotación se añaden una serie de efectos ambientales indirectos, pero igualmente graves, como:

- producción de basuras y desechos
- se induce a la colonización de lugares remotos debido al desarrollo de infraestructura
- propagación de enfermedades tropicales originadas por pozos residuales de agua.

ILUSTRACIÓN 3

**IMPACTOS AMBIENTALES POSIBLES GENERADOS POR LOS DIFERENTES SISTEMAS
DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS ALUVIALES**

(sin considerar los impactos causados por la concentración)



La siguiente ilustración muestra un resumen general de los posibles impactos ambientales causados por la pequeña minería.

ILUSTRACIÓN 4
**IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES GENERADOS
POR LA CONCENTRACIÓN
DE MATERIALES AURÍFEROS (33)**

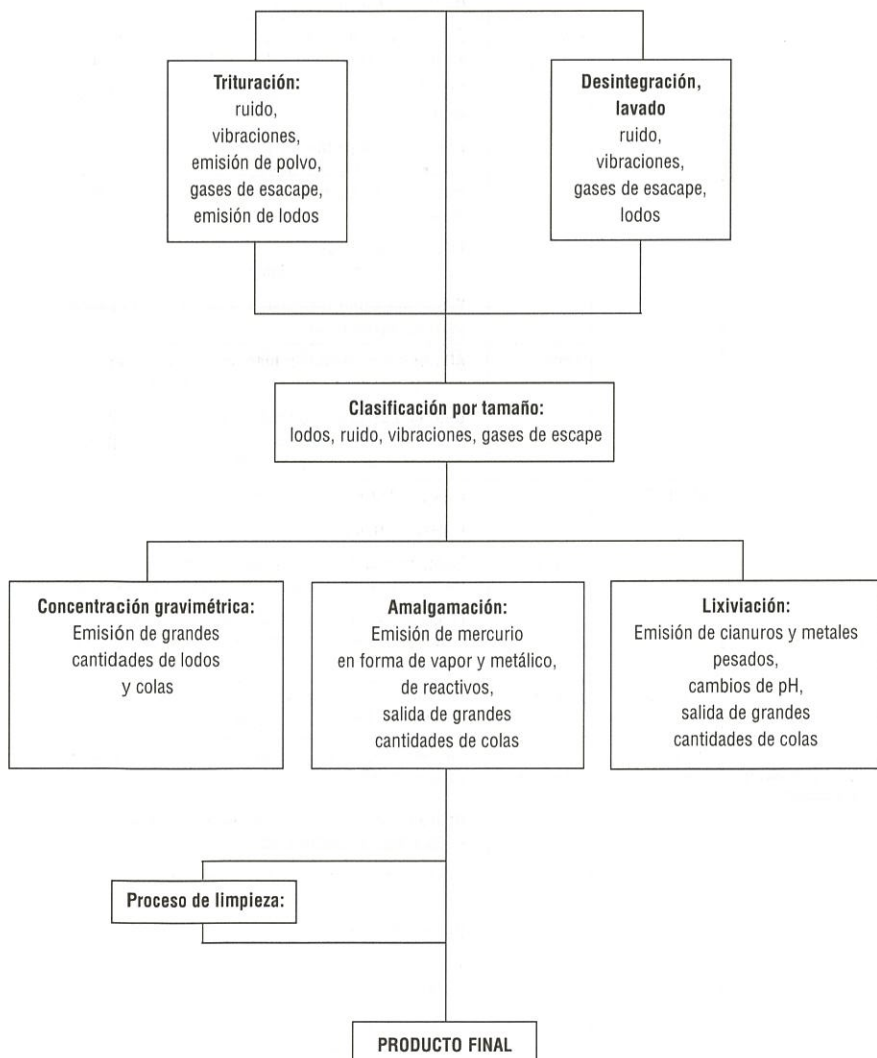


TABLA 4
IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LA PEQUEÑA MINERÍA

MEDIO IMPACTADO (129)			EFFECTOS SOBRE EL MEDIO (IMPACTOS)
Medio Físico	Medio Inerte	Aire	Deterioro de la calidad del aire (contaminación con mercurio, gases nitrosos, óxidos de azufre, gases de escapes, gases de calcinación, tostación y fundición, etc.) Generación de polvo (perforación en la explotación, transporte, beneficio, etc.) Ruido (de máquinas, voladuras, etc.)
		Tierra	Contaminación (sólidos gruesos, relaves, escombreras, sulfuros, mercurio, lubricantes, aceites, metales pesados, etc.) Erosión (desmonte, relaveras, efectos de la deforestación, etc.) Capacidad agrológica (remoción de la capa vegetal, cubrimiento de tierras fértiles con colas y desmontes, destrucción de tierras agrícolas por la explotación a cielo abierto, erosión, etc.) Valores geológicos (baja recuperación de minerales valiosos, pérdida de colas, "high grading", etc.) Vibraciones (por máquinas y equipos como chancadoras, transporte pesado, etc.)
		Agua	Alteración de recursos hídricos (relleno innecesarios de cuencas con colas, alteración de cauces de ríos, etc.) Deterioro de la calidad del agua (contaminación con mercurio, metales pesados, cianuro, sólidos finos, aguas ácidas, lubricantes, aceites, aguas servidas, etc.)
	Medio Biótico	Flora	Especies herbáceas (desmonte, quema de vegetación, etc.) Especies arbóreas (deforestación, etc.)
		Fauna	Fauna terrestre (perturbación y extinción de la fauna terrestre debido a caza, contaminación, deforestación, ruido, etc.) Fauna acuática (perturbación y extinción de la fauna acuática debido a pesca, contaminación, alteraciones de recursos hídricos, etc.)
	Perceptual	Paisaje	Cambio del valor paisajístico (destrucción de paisaje, tierras fértiles, terrazas, playas, etc.)
Medio Socioeconómico y cultural	Medio social	Uso del Territorio	Cambio de uso (abandono de actividades tradicionales como agricultura, etc.) Ocio y recreo (destrucción de playas, contaminación de ríos y lagos, tala de bosques, etc.) Desarrollo urbano (creación de asentamientos, "calles de compradores", etc.) Desarrollo turístico Zonas verdes (tala de bosque, conversión en zonas industriales, pérdida de vegetación, etc.) Zona comercial (zonas industriales, "centros mineros", acumulación de compradores de oro, etc.)

MEDIO IMPACTADO (129)		EFECTOS SOBRE EL MEDIO (IMPACTOS)	
		Cultural	Educación (abandono de escuelas para trabajo temprano en las minas, etc.) Monumentos (destrucción de restos de instalaciones mineras de la época colonial, etc.) Restos arqueológicos (minería en áreas de explotación precolonial, etc.) Estilo arquitectónico ("arquitectura minera", etc.) Estilo de vida (migración, intercambio cultural, pérdida de valores tradicionales, conflictos con grupos indígenas y residentes, etc.)
		Infraestructura	Comunicaciones (rol pionero de la minería para la colonización de áreas remotas, etc.) Equipamiento (creación de talleres, mecánicos, materiales de construcción, etc.) Red abastecimiento (apertura de pistas de aterrizaje, construcción de carreteras, etc.) Red saneamiento (basura, aguas servidas, etc.)
		Humanos	Sensaciones Calidad de vida (contaminación, enfermedades, cambio a "cultura industrial" en regiones remotas, recursos financieros disponibles, etc.) Congestión tráfico (transporte de material y mineral, Seguridad ciudadana (criminalidad, orden público, creación de comités de vigilancia, guardaespaldas, guardianes, etc.) Riesgos catastróficos (derrumbes, etc.) Salud e higiene (problemas de salud ocupacional, enfermedades venéreas, enfermedades tropicales: malaria, dengue, etc.)
	Medio económico	Población	Densidad de población (asentamientos mineros, efectos "gold rush" p.ej. Serra Pelada, Nambija, etc) Nivel de empleo (requerimiento de mano de obra, calificación de mano de obra, etc.) Relaciones sociales (conflictos con la comunidad, conflictos con grupos indígenas, conflictos entre mineros formales e informales, invasiones, etc.)
		Economía	Nivel de consumo (aceleración del proceso de desarrollo económico, etc.) Cambio de precios (Aumento de precios, escasez de ciertos productos, aumento de demanda, etc.) Cambio valor del suelo (minería informal: el terrateniente "permite" la explotación, construcción de ingenios, etc.) Compra y venta de terrenos (para construcciones de infraestructura, vías de acceso, etc.) Ingreso administración (impuestos municipales, participación municipal en recaudación de regalías, fondos para obras públicas, etc.) Ingresos economía local (aumento del poder adquisitivo, comercio, almacenes, bares, servicios de infraestructura, etc.)

3.2. Falta de control/fiscalización

El Estado tiene grandes dificultades en controlar el subsector de la pequeña minería, debido a:

- la localización aislada de un sinnúmero de pequeñas empresas
- la falta de leyes y normas aplicables al subsector
- la falta de personal capacitado
- la falta de infraestructura necesaria (movilidades, equipos, laboratorios, etc.)
- la negación del acceso por parte de las empresas / minas y en parte debido a la falta de voluntad del Estado de reconocer este subsector como realidad

La minería es una actividad que produce serios y múltiples impactos sobre el medio ambiente. Por esta razón, el interés público se ha enfocado en ella. Durante esta década la preocupación por problemas ambientales ha llegado a los niveles políticos en países desarrollados y en desarrollo. Como resultado, se han formulado leyes y fundado instituciones gubernamentales ambientales. La aplicación de estas nuevas leyes ha sido en general fácil en las empresas grandes y medianas privadas; sin embargo, muchos países no han podido incluir hasta ahora a la pequeña minería y minería artesanal en su sistema legal formal y en sus políticas nacionales ambientales. La pequeña minería se encuentra hoy en día más estancada en su situación de informalidad. En algunos países a los pequeños mineros se les:

- niega los permisos de operación
- retarda el proceso de aprobación de las solicitudes
- complica extremadamente los requerimientos administrativos.

En algunos países, para la pequeña minería es casi imposible obtener una legalización del gobierno, aunque en parte esto sea contrario a los fundamentos legales. Aun así, estas pequeñas empresas mineras siguen trabajando sin la seguridad legal requerida. Por un lado, esta política tiene como consecuencia que los mineros traten de evadir conscientemente el control del Estado y, por otro, no se sienten obligados a cumplir con las leyes vigentes, cometiendo infracciones contra leyes y reglamentos del medio ambiente, o de la seguridad industrial. Algunas de las empresas demuestran un comportamiento social y ambiental desastroso. Esta situación dificulta el trabajo de los proyectos de fomento –gubernamentales como no-guberna-

mentales— con tales empresas, ya que las mismas han creado un ambiente de desconfianza que solamente podrá ser superado aplicando medidas que cuestan tiempo y dinero. Estas medidas no podrán estar dirigidas inmediatamente a las mejoras ambientales en las empresas, y solamente serán aceptadas si el asesoramiento promete tener efectos de mayor producción, menores costos, u otras ventajas. Sólo a partir de esta base se podrán difundir algunos cambios respecto al medio ambiente.

3.3. Situación deficiente de la salud ocupacional

Al considerar la situación ambiental de la pequeña minería es de suma importancia no tener en cuenta sólo los impactos sobre el entorno físico, sino también aquellos sobre el entorno social. Las actividades laborales y otros aspectos de la vida de los mineros se desarrollan en condiciones tales que el impacto en su salud es de amplia complejidad, en muchos casos con el compromiso serio de la vida.

Las situaciones relacionadas con el mercurio son tan sólo una pequeña parte del problema, otras son: las condiciones sanitarias generales, las enfermedades características de la actividad minera que van desde la muerte por accidentes de trabajo hasta las eventuales intoxicaciones agudas y crónicas de diferente tipo; incluyéndose, además, las neumopatías, las otopatías por ruido, las implicaciones por la exposición a vibraciones, los efectos de la fatiga por jornadas prolongadas, las alteraciones mentales, etc. A todo esto se suma el riesgo de derrumbes de tierras, explosiones, incendios, inundaciones, mala manipulación de herramientas y maquinarias, por arrastre y transporte de materiales; riesgos de caídas y de múltiples problemas por el uso inadecuado de electricidad. Frecuentemente no se pueden separar las condiciones de trabajo con otras condiciones de vida que afectan a la salud de los mineros. Parasitosis, paludismo, anemia, tuberculosis son los problemas que padecen los mineros y sus familias.

No se puede desconocer que los problemas de salud de los mineros se encuentran estrechamente relacionados con la existencia o no de programas de salud ocupacional y con la disponibilidad de suficientes y adecuados servicios de salud, con las características de la vivienda, saneamiento básico, alimentación, educación, reposo y recreación, con las políticas estatales y de las empresas privadas en el campo de la minería, con la organización y conciencia de los trabajadores mineros. Lamentablemente, en la gran

mayoría de los países en vía al desarrollo no existen registros completos y confiables sobre el perfil epidemiológico de los trabajadores vinculados a esta actividad (17, 18, 19, 20, 53).

3.4. Causas de los problemas

Muchas y muy variadas son las causas del impacto ambiental en la pequeña minería. En la siguiente lista se enumeran las principales razones:

- falta de conocimiento, educación y capacitación (técnico y ambiental)
- tecnología ineficiente/limitaciones técnicas
- manejo y gestión administrativa ineficiente
- errores de control humano
- limitaciones económicas
- falta de acceso a la tecnología
- falta de información sobre mejores prácticas
- falta de control y de sanciones/refuerzo.



1. Minería aluvial: erosión (valle río Tipuani, Bolivia)



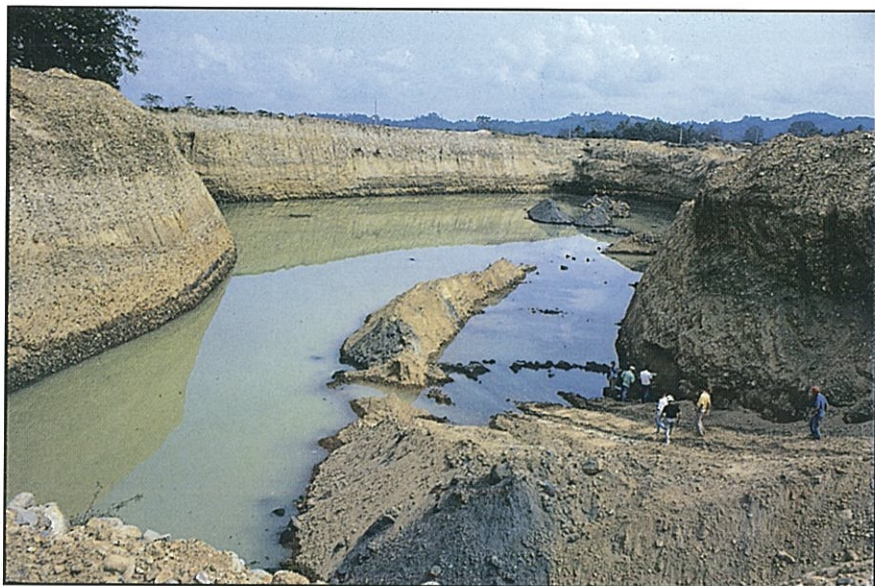
2. Minería aluvial: destrucción del paisaje (Huaypetue, Perú)



3. Minería aluvial: alteración de los cauces de los ríos (río Tipuani, Bolivia)



4. Minería aluvial: enlodamiento de los ríos (confluencia río Consata, con minería y río Camata, sin minería, Bolivia)



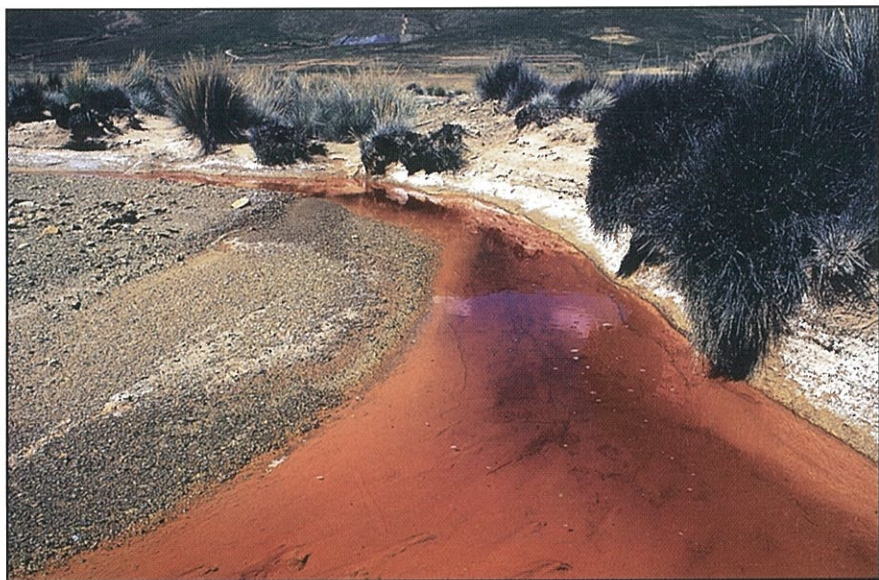
5. Minería aluvial: lagunas restantes (Coop. Tupara, Bolivia)



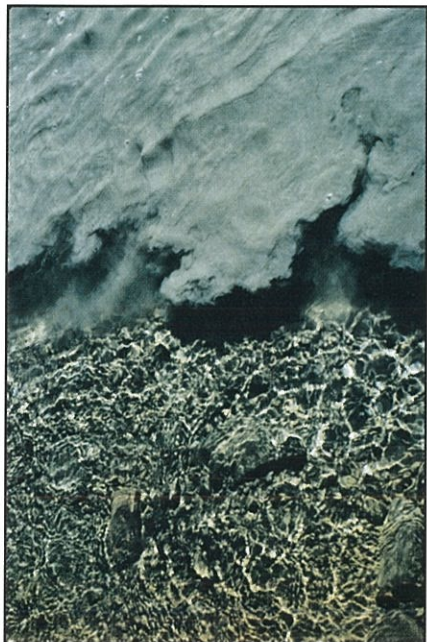
6. Minería aluvial: descarga de colas al río (Kabaketa, Colombia)



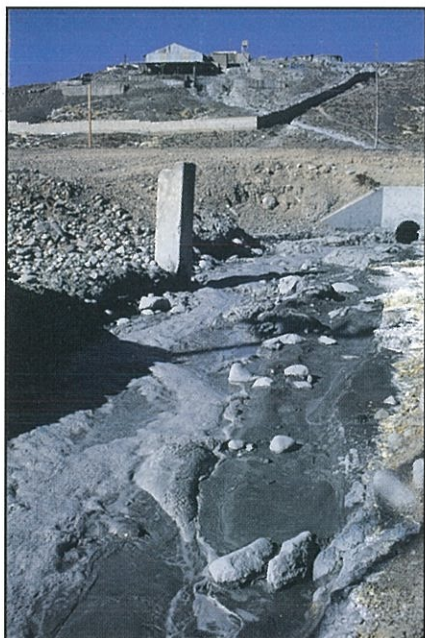
7. Minería primaria: depósito inapropiado de colas (Mina Concepción, Bolivia)



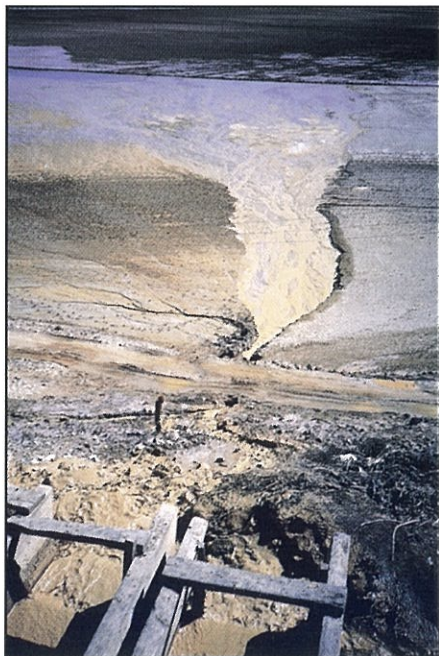
8. Minería primaria: aguas ácidas de mina (Mina San Francisco, Poopo, Bolivia)



9. Descarga de sólidos finos (material molido) a los ríos (Potosí, Bolivia)



10. Minería primaria: planta de flotación con descarga al río (río La Ribera, Potosí, Bolivia)



11. Minería primaria: descarga de colas a los alrededores (Coop. Huayna Potosí, Bolivia)



12. Minería primaria: planta de percolación (lixiviación con cianuro) (Portovelo, Ecuador)

4

Gestión ambiental para una pequeña minería sostenible

Obviamente, la precaria situación de la pequeña minería conlleva la necesidad forzosa de solucionar, juntamente con los problemas netamente mineros, los ambientales, sociales, legales y técnicos. Desde finales de los años 70, cuando las organizaciones donantes se comenzaron a interesar cada vez más en la pequeña minería como sector potencial para cooperación internacional, se han podido hacer muchas y diversas experiencias con enfoques para proyectos en esta área. De éstas se ha concluido que los enfoques unidimensionales no llevan a la meta, así como tampoco al actuar por motivos sociales.

4.1. Sostenibilidad de la minería

4.1.1 El concepto de reservas minerales

La minería es una de las actividades económicas más antiguas de la humanidad. No es por nada, que se clasifica las épocas prehistóricas de la humanidad según los minerales utilizados (edad de piedra, edad de bronce, edad de hierro).

Desde que en los años '70 se publicó el estudio "The Limits to Growth" (21) existe una confusión profunda referente a la sostenibilidad de la minería. El estudio en mención pronosticó en el año '72, que las reservas mundiales de varios recursos minerales estaban en camino de agotarse en un futuro cercano (ejemplos: oro en 9 años, estaño en 15 años, petróleo en 20 años, etc.). La realidad actual nos muestra claramente, que esto no fue así. Sin embargo, de ahí nació en principio el concepto de que la minería es una actividad no sostenible.

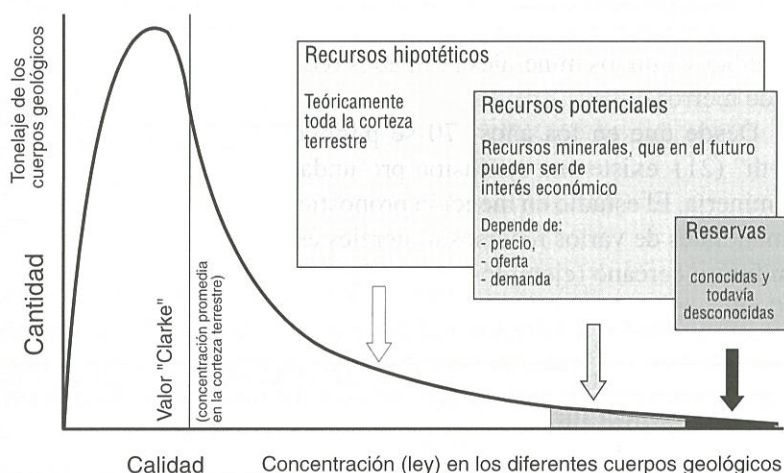
Para entender mejor la sostenibilidad de la minería es necesario, de definir unos términos (22, 23):

- **Materia prima:** Materia prima se define como cualquier materia orgánica o inorgánica, que durante un proceso de producción se transforma o que entra en forma directa o indirecta en el producto. Según la etapa de producción la materia prima puede ser constituida por recursos naturales o por productos de etapas anteriores de producción.
- **Recursos minerales:** Los recursos minerales se definen como todos los metales, minerales, rocas, e hidrocarburos, que pueden ser utilizados por el hombre y que existen en el suelo y subsuelo.
- Los **yacimientos minerales** son cuerpos geológicos, que contienen recursos minerales en una concentración muy superior a la de la corteza terrestre en general y por lo tanto son de interés económico.
- Los recursos minerales que se encuentran en yacimientos se consideran como **reservas minerales**.

La Ilustración 5 demuestra la hipótesis comúnmente aceptada sobre la distribución de los recursos minerales en la corteza terrestre. Esta ilustración nos indica, que aunque la cantidad a nivel global de un recurso mineral puede ser grande o inmensa, existe un límite de lo que podemos considerar como reserva (recurso explotable). Existe una gran cantidad de rocas con contenidos mínimos de un cierto mineral, y en comparación con ellos existen cantidades muy limitadas con contenidos altos.

ILUSTRACIÓN 5

CONCEPTO DE RESERVAS, RECURSOS POTENCIALES Y RECURSOS HIPOTÉTICOS



Si analizamos la situación del oro, podemos decir: prácticamente todas las rocas contienen oro en trazas (ley promedia: “valor clarke” = 0.0035 gr/ton)(24), pero como yacimiento se entiende solamente aquellos cuerpos geológicos, cuya ley está encima de un cierto valor (ley crítica). Esta cantidad -las reservas- sin embargo, está sujeta a cambios a lo largo del tiempo, de acuerdo a: nuevos descubrimientos geológicos, avances tecnológicos en el procesamiento, variaciones del precio en el mercado, etc. Así, los recursos potenciales pueden convertirse poco a poco en reservas, a medida que progresa la tecnología minera o metalúrgica, o que la situación económica y la demanda hagan rentable el aprovechamiento de aquellos recursos que anteriormente no lo eran.

4.1.2 Materia prima y el término “no-renovable”

Con el fin de entender mejor el término “no-renovable” en relación con los recursos minerales, hay que distinguir claramente entre (25):

- los **yacimientos de recursos minerales** que forman la “materia prima” para la actividad minera que a su vez procesa el mineral y transforma su contenido en materia prima para siguientes etapas de producción que por lo general son de tipo industrial. Por ejemplo, en el caso del oro su mayor
- los **productos de la minería**, los cuales normalmente se considera como “materia prima” del proceso industrial.

Ambos, normalmente, se consideran como “Recursos Minerales”, el yacimiento de oro, igual que el oro mismo. La diferencia importante que existe, se puede explicar muy fácil con un ejemplo: En el idioma español se distingue claramente entre el “pez” y el “pescado”, aunque sea el mismo animal. En este sentido los recursos minerales dentro de la tierra (yacimientos) corresponden al pez en el agua, mientras que los recursos minerales producidos por la minería (minerales) corresponden al pescado, que se vende en el mercado.

Así, la minería en su fase de explotación consume la materia prima “yacimiento de oro”, y produce la materia prima “oro”. Por lo tanto, queda claro que el único recurso “no-renovable” que aprovecha la minería son los yacimientos. La materia prima “oro” no es consumida sino más bien sometida a un proceso de concentración a través de las diferentes operaciones de beneficio del mineral.

El término del “yacimientos” por otro lado está vinculado estrictamente a condiciones económicas: el yacimiento contiene reservas minerales que son de interés económico. La cantidad de las reservas minerales, como hemos visto en el cap. 4.1.1, sin embargo no es fija, sino depende de condiciones externas (principalmente el precio). Así, lo que ocurre, es que al agotarse a nivel mundial los yacimientos más ricos, incrementa la atraktividad de yacimientos de menor ley, los cuales con el incremento del precio de oro se convierten de recursos potenciales en reservas. De esta forma tampoco podemos hablar de los yacimientos como recursos no-renovables, considerando que toda la corteza terrestre está constituida de minerales.

4.1.3. Aspectos referentes a la sostenibilidad de la minería

- La minería de oro convierte yacimientos de oro en oro metálico. Durante este proceso el oro no se consume, sino se lo concentra. El oro como elemento químico **no** es un recurso no-renovable.
- La minería explota siempre los yacimientos más atractivos (de más alta ley), los cuales en forma individual sí son no-renovables. Sin embargo, paralelamente la cantidad de reservas (y de yacimientos) aumenta, debido a que con los incrementos de precio, los recursos potenciales se convierten en nuevas reservas. Mientras existe la demanda de un mineral o metal, las reservas del mismo tampoco son no-renovables.
- La minería siempre ha sido una actividad nómada: se la realiza donde se encuentra un yacimiento, y cuando el yacimiento está explotado, se traslada hacia otros lugares. Por lo tanto su sostenibilidad debe ser evaluada no en un contexto local, sino regional. La historia de la humanidad (con miles de años de explotación minera) no da lugar a duda, que la actividad minera es una actividad sostenible.

¿Quién puede dudar que las futuras generaciones no utilizarán y explotarán metales como el hierro, cobre, zinc, oro, plata, materiales pétreos para la construcción, o minerales no-metálicos para diferentes usos? Tal vez lo harán explotando yacimientos de menor ley y a mayor costo; probablemente lo harán en otros yacimientos; pero seguramente lo harán.

- El oro producido contribuye al poder adquisitivo de la sociedad y así al desarrollo.
- La actividad minera, como cualquier otra actividad económica debe ser reconsiderada y reorientada bajo el criterio del desarrollo sostenible,

expresado ampliamente como resultado de la conferencia de las Naciones Unidas en Río de Janeiro en el año 1992 (ver cap. 4.2.1).

El desarrollo sostenible constituye un nuevo paradigma a alcanzar. Se lo entiende como un proceso que pretende la transformación productiva para mejorar la calidad de vida, haciendo uso racional del capital humano, natural, físico, financiero y cultural, sin poner en riesgo la satisfacción de las generaciones futuras, en un marco de equidad social (26, 27, 28).

Las consideraciones anteriores dejan en claro, que la explotación minera al momento actual no pone en riesgo la satisfacción de las generaciones futuras con recursos minerales. Desde este punto de vista la minería puede ser considerada como absolutamente sostenible. Los riesgos más bien se encuentran en otro nivel, el de la gestión ambiental de varios subsectores de la minería, y los consecuentes conflictos relacionados con el uso del suelo y la contaminación ambiental.

La degradación del medio ambiente no es sostenible. Un claro ejemplo relacionado con el tema central de este libro es el sitio "Carson River" en los Estados Unidos, que 150 años después de terminada la actividad minera ha sido declarado un "EPA superfund site", debido a su contaminación con mercurio, y que en la actualidad está rehabilitándose con una inversión de varios millones de dólares (28).

La sostenibilidad de la explotación minera por lo antes expuesto, no es un problema de agotamiento de los recursos minerales, sino más bien un problema social y ambiental. Y por los intereses económicos frecuentemente se vuelve un problema político.

Al adoptar una perspectiva global y múltiple en vez de local y monosectorial se puede afirmar que la minería es una actividad sostenible siempre y cuando se la practique adecuadamente, aplicando tecnología idónea y reciclando sus beneficios en el desarrollo regional y nacional.

Si los beneficios de la minería son efectivamente invertidos en el desarrollo de la sociedad, esta actividad puede garantizar una mejor calidad de vida con el aprovechamiento de recursos geológicos. Las ganancias mineras pueden resultar en una mejor educación y en la ampliación de las oportunidades de desarrollo en distintos ámbitos. Lamentablemente, la historia nos enseña que no siempre es así (p.ej. la minería colonial de la plata y la minería del estaño por los "Barones del Estaño" en Bolivia)

La siguiente Tabla 5 presenta algunas condiciones para la sostenibilidad de la explotación de materias primas minerales:

TABLA 5

ASPECTOS DE UNA MINERÍA SOSTENIBLE EN NIVELES DIFERENTES

Nivel	Aspectos económicos	Aspectos sociales	Aspectos relevantes para el medio ambiente	Aspectos políticos
Nivel macro estado	recaudación de impuestos y regalías	distribución justa del beneficio micro y macro-económico de la minería	minimización o eliminación del potencial conflictivo en el caso de competencia por la explotación de los recursos respectivos (agua, superficie de la tierra, suelo, aire, minerales, etc.)	- existencia y aplicación de una política minera y económica liberal - existencia de un sistema jurídico transparente, consistente y justo (derecho económico, impositivo, minero, ambiental etc.) - existencia de un clima de inversiones positivo (estabilidad, orientación a una economía libre, seguridad jurídica, libre acceso de los productos al mercado, bienes de inversión y capital, etc.) - inclusión de la minería en la planificación del desarrollo regional
Nivel intermedio comunidad	- oferta existente de servicios relevantes para empresas - contribución de las minas a la economía regional (regalías locales)	inclusión de la población en la explotación minera y consideración de los intereses locales en la planificación	oferta existente de servicios relevantes para el medio ambiente	- diálogo fluido entre la empresa y el Estado - existencia de instrumentos e instituciones para la realización de las directrices políticas
Nivel micro empresa	- competencia empresarial y conocimientos económicos - conocimientos de la situación de las reservas como base sólida para la planificación - capitalización de la empresa - funcionamiento económico sin ayuda financiera gratuita o subvenciones por terceros - explotación minera continuada y a largo plazo	- mano de obra calificada y motivada - existencia de un programa de formación y capacitación dentro de la empresa - alto grado de seguridad ocupacional - protección social de los mineros - inclusión de la minería en el sistema jurídico vigente del país	- uso racional y cuidadoso de recursos minerales únicos y no-renovables (en lo posible explotación total del yacimiento con un alto grado de recuperación; extracción de productos secundarios; evitar una explotación abusiva, etc.) - extracción y beneficio con gastos ambientales mínimos	- existencia de una base de planificación para el aprovechamiento de los recursos minerales, financieros, materiales y humanos - existencia de conceptos respecto a la situación después del cierre de la mina

4.2. Marco conceptual de la Gestión Ambiental

Gestión ambiental es el conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión, relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del Medio Ambiente, basándose en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación ciudadana (129).

El entorno legal para la gestión ambiental está definido por la legislación ambiental, establecida en cada país a nivel de Constitución, de leyes, reglamentos, procedimientos, permisos, costumbres, etc. Si bien la legislación varía de país a país, existen muchas similitudes, y sobre todo existen normas y acuerdos internacionales, ratificados y vigentes prácticamente a nivel mundial.

Entre estos podemos mencionar:

- La Agenda 21 de la Naciones Unidas (27).
- La norma ISO 14000 (29).

4.2.1. Agenda 21

La conferencia de las Naciones Unidas llevada a cabo en 1992 en Río de Janeiro se propuso establecer cómo se debe definir el desarrollo sostenible y cómo implementarlo. El documento final, la así llamada Agenda 21, resume estos temas.

Transferencia de tecnología ambientalmente adecuada (Transfer of Environmentally Sound Technology) tal como está definida en la Agenda 21.

Artículo 34.3

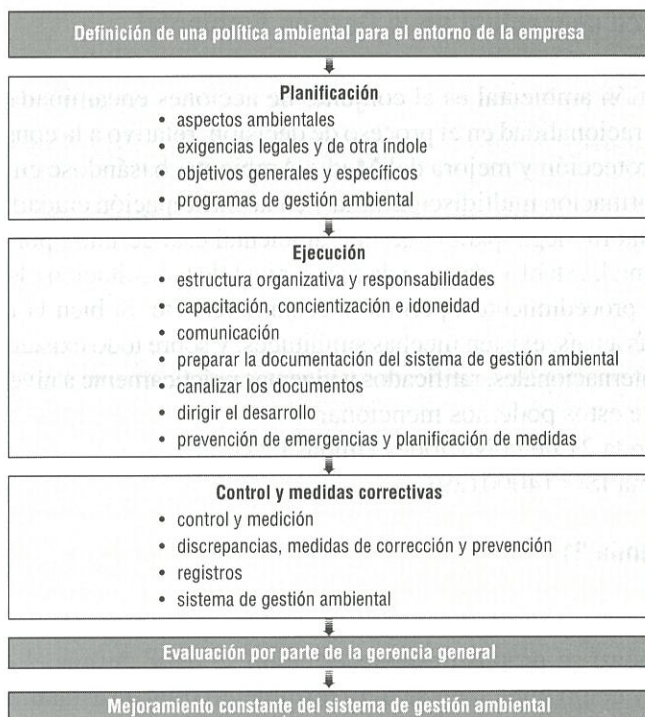
Las tecnologías ambientalmente adecuadas no son simplemente tecnologías individuales, sino paquetes completos que incluyen “know-how”, procedimientos, bienes y servicios y equipos, así como procesos organizativos y de gestión.

Esto implica que, al discutir sobre transferencia de tecnologías, también se debe considerar el desarrollo del recurso humano y aspectos de la formación y capacitación local que busquen alternativas tecnológicas, incluyendo aspectos de género que sean relevantes.

Las tecnologías ambientalmente adecuadas deben ser compatibles, tanto a nivel socioeconómico, cultural y ambiental, con las prioridades nacionales ya establecidas.

4.2.2. La gestión ambiental según las normas ISO 14.000 y siguientes

Este sistema de vigencia mundial destinado al área empresarial se basa estructuralmente en la norma ISO 9000 para gestión de control de calidad. Sus fundamentos se pueden resumir así:



El sistema de la norma ISO prevé una evaluación periódica del sistema de manejo ambiental y una certificación de la empresa por parte de entidades oficiales. Debido a que este sistema es en gran medida compatible con el sistema gerencial de control de calidad según las normas ISO 9000 (30), los conocedores de la materia cuentan con que este sistema de gestión en el futuro será aplicado ampliamente, aunque con mucha dificultad en la pequeña minería.

4.3. Gestión Ambiental: interacción de requerimientos ambientales; exigencia y cumplimiento

En todos los países existen normas ambientales con carácter legal. La legislación ambiental es la base para el manejo ambiental, sin embargo, la experiencia demuestra, que la pura existencia de leyes ambientales no garantiza de ninguna manera una mejora de la situación ambiental o de salud pública. El cumplimiento de normativas ambientales –como de cual-

quier ley— no sucede por sí mismo, sino a través de mecanismos de exigencia y control. Esta exigencia puede ser aplicada por parte del Estado, por organizaciones no-gubernamentales o por la misma comunidad (31).

Para buscar, proponer e implementar soluciones a los problemas ambientales existen diferentes formas de acercamiento:

Estrategias voluntarias: Buscan el cumplimiento voluntario de requerimientos ambientales mediante asistencia técnica, educación ambiental, concienciación, sensibilización, incentivos, etc. Estas estrategias se aplican principalmente por parte de organizaciones no-gubernamentales (ONG's ambientalistas) o por los mismos sectores involucrados (cámaras, etc.)

Estrategias regulatorias: Organizaciones gubernamentales por lo general tienden a exigir el cumplimiento de regulaciones ambientales a través de su autoridad y poder de exigencia legal.

Estrategias mixtas: Exigen cambios y a la vez ofrecen ayuda y asistencia en su implementación.

4.3.1. Requerimientos ambientales

La legislación ambiental y ciertos factores culturales y éticos forman la base para cualquier gestión ambiental. Los requerimientos pueden ser formales o informales; En todo caso no son estáticos, sino dinámicos. Lo que hace veinte años nos pareció bien, hoy lo consideramos a veces como errores del pasado, y lo que hoy consideramos bien, tal vez en veinte años más resultará haber sido un error.

La gestión ambiental sólo es posible, si los requerimientos son claramente definidos y realistas. El objetivo de poder cumplir con los requerimientos, sin embargo, es solamente factible cuando los requerimientos a la vez sean exigibles. Requerimientos no-exigibles son ineficientes, tienen altos costos de exigencia y los resultados son insatisfactorios.

En muchos países abundan las leyes y normas ambientales, sin ser debidamente respetadas. Esto es en muchos casos un problema de la exigibilidad de los requerimientos. Para que los requerimientos ambientales (sean leyes, reglamentos o estándares ambientales) sean exigibles, los mismos deben ser:

- claros, precisos, consistentes y sin contradicciones
- alcanzables con tecnología disponible, confiable y económica
- fáciles de controlar mediante procedimientos previamente establecidos
- compatibles con regulaciones complementarias (p.ej. de salud, recursos naturales, etc.)

- con responsabilidades claramente definidas
- previsible referente a las consecuencias en caso de incumplimiento

Los requerimientos deben ser estrictos en el sentido que puedan lograr un mejoramiento ambiental suficientemente rápido y significativo. En la práctica, sin embargo, muchas veces se establece estándares ambientales demasiado ambiciosos, que pueden provocar lo contrario: requerimientos demasiado estrictos frecuentemente son poco exigibles, debido a la falta de tecnología disponible, conocimientos de los operadores y falta de educación^a; consecuentemente los requerimientos pierden credibilidad.

La ejecución de programas ambientales requiere tiempo y recursos. En la implementación de los requerimientos se debe establecer un cronograma respectivo, diferenciado en metas a alcanzar a corto, mediano y largo plazo. Los requerimientos ambientales pueden ser generales (en forma de leyes o reglamentos) o individuales (permisos y licencias). Los requerimientos generales forman el marco para la formulación de requerimientos individuales. Para eso además de ser exigibles en el sentido arriba mencionado, los mismos deben poseer una cierta flexibilidad para ser adaptados a las diferentes condiciones locales de las instalaciones reguladas. Además, en lo posible deben indicar las posibles causas para excepciones, para evitar en lo máximo interpretaciones posteriores.

El monitoreo y seguimiento de requerimientos generales por lo general son más fáciles, debido a que el personal que efectúa el control puede aplicar el mismo patrón en todas las instalaciones. Sin embargo, en su mayoría los requerimientos individuales tienen mayor probabilidad de ser cumplidos.

4.3.2. Factores que influyen en el cumplimiento

El objetivo principal para lograr sostenibilidad en un programa ambiental es influir el comportamiento humano hacia una costumbre de cumplir los requerimientos ambientales, es decir, de crear un ambiente de cumplimiento. Lograr este objetivo significa motivar la comunidad a cumplir,

a Los valores límites de emisiones de mercurio, propuestos por la OMS por ejemplo, son sin mayores problemas exigibles en países industriales. Para operaciones de pequeña minería en países en vía al desarrollo, sin embargo, se debe considerar un gran logro, de haber reducido las emisiones en un cierto porcentaje, a pesar de que los valores cuantitativos todavía se encuentran por encima de los valores permisibles.

remover barreras que impiden el cumplimiento y superar motivos existentes que incentivan el incumplimiento.

Son varios los factores que influyen el cumplimiento de las normas ambientales.

Factores económicos: Consideraciones económicas pueden motivar o desmotivar a realizar cambios en la actitud ambiental. Sin embargo, cuando el costo es alto es menos probable el cumplimiento. La mayor probabilidad de cumplimiento voluntario tienen medidas ambientales con opciones “win-win”, donde todos salen ganando (ver cap. 4.3.4.). Por otro lado, también se considera los costos de multas o sanciones, que pueden motivar hacia el cumplimiento, cuando son por lo menos igual al costo del cumplimiento.

Factores institucionales: Cada país y cada cultura tiene sus costumbres referente al cumplimiento de leyes. La credibilidad institucional es el producto de la seriedad tradicional de los gobiernos y sus funcionarios. Las estrategias de crear credibilidad pueden variar: en algunas culturas una exigencia agresiva puede crear credibilidad, en otras se requiere un periodo inicial de creación de confianza para posteriormente crear un ambiente de cooperación.

Factores socio-culturales y psicológicos: Cualquier “grupo” meta siempre está compuesto por individuos, que siempre dan tres diferentes respuestas a los requerimientos normativos y por lo tanto también a requerimientos ambientales:

- Individuos que voluntariamente cumplen los requerimientos
- Individuos que se resisten a cumplir los requerimientos, e
- Individuos que solamente cumplen, cuando ven, que existen sanciones contra aquellos que no cumplen.

Para lograr el cumplimiento de los requerimientos ambientales es importante que:

- Exista una alta probabilidad, de que el incumplimiento será detectado
- La respuesta al incumplimiento sea inmediata y previsible
- La respuesta al incumplimiento incluya una sanción, y
- Se sienta la presencia de los tres factores anteriores.

El prestigio personal vinculado con el hecho de ser un “ciudadano responsable” varía en diferentes culturas, y en la misma cultura según su madurez. Su valor puede ser mínimo en asentamientos mineros informales

recién creados, pero puede alcanzar niveles superiores en regiones con una antigua tradición minera.

En cada comunidad existen líderes, cuya actitud frente a requerimientos de cumplimiento de leyes y normas es de suma importancia. Según las características de la comunidad, son en un caso los “buenos líderes” o los “malos líderes” los que más pueden contribuir a un ambiente de cumplimiento.

Factores tecnológicos: El cumplimiento debe ser técnicamente factible. Es necesario que los involucrados conozcan exactamente qué deben hacer, que tienen acceso a la tecnología necesaria, y que tienen los conocimientos necesarios para aplicar y operar correctamente esa tecnología.

4.3.3. Promoción de cumplimiento

Promoción de cumplimiento es cualquier acción, que logra el cumplimiento voluntario de los requerimientos ambientales.

La promoción de cumplimiento por sí solo muchas veces no es suficiente para lograr cambios en la actitud ambiental. Frecuentemente se requiere de cierta exigencia para crear un ambiente en que cada miembro de la comunidad regulada tenga incentivos claros para hacer uso de las oportunidades y recursos ofrecidos por la promoción. Por otro lado la experiencia ha mostrado, que la exigencia por sí sola no es tan eficiente como la exigencia combinada con la promoción.

Lo último se aplica sobre todo cuando:

- El grupo meta es muy grande y disperso; como frecuentemente es el caso en la pequeña minería donde existe una gran cantidad de fuentes contaminantes.
- El grupo meta tiene una cierta predisposición para el cumplimiento voluntario
- Cuando existe una resistencia cultural contra la exigencia, lo que es típico para el sector informal

Promoción es un elemento importante de muchos programas ambientales. Posibles formas de promoción de cumplimiento son:

Educación y asistencia técnica al grupo meta: Educación, concientización, y sensibilización forman la base para el cumplimiento voluntario y son necesarios para romper la barrera de ignorancia que obstaculiza el cumplimiento, y son importantes sobre todo en la fase inicial de im-

plementar cambios. Estos cambios en muy pocos casos se autoimplementan por el grupo meta sólo en base de la concientización y educación. Es necesario prestar asistencia técnica y realizar el seguimiento a largo plazo para implementar estos cambios y asegurar su sostenibilidad.

Participación comunitaria: La población afectada es un aliado potente en la promoción de cumplimiento. La población afectada puede tener una función de vigilancia importante, si es instruida sobre las causas y efectos de la contaminación ambiental a corto y largo plazo. Ahí les corresponde un papel importante a las mujeres, sobre todo en aquellas culturas donde el hogar y el bienestar familiar son considerados como parte de la responsabilidad femenina. Debido a este papel de la comunidad, muchas empresas, cooperativas, y sociedades mineras buscan voluntariamente una convivencia armónica con la población en sus alrededores. Existen demasiados ejemplos donde la comunidad, después de haber sido afectada por los impactos ambientales de la actividad minera, ha tomado un papel activo en la defensa de su medio ambiente, impidiendo el futuro desarrollo de la actividad minera^a y causando pérdidas millonarias.

Publicación de ejemplos positivos: Para muchas empresas, la publicidad positiva, resultado del cumplimiento de estándares ambientales, es considerada de suma importancia.

Formas innovativas de financiamiento: Una barrera para la implementación de medidas ambientales es su costo. El estado puede crear diferentes modelos para financiar inversiones ambientales con ventajas financieras y/o tributarias. Pero también organizaciones no-gubernamentales pueden crear tales facilidades^b.

Incentivos económicos: Igual que con las formas innovativas de financiamiento de inversiones ambientales, el estado tiene varias posibilidades de intervención. La gama de medidas va desde subsidios a costos am-

a En el mes de mayo de 1997 se realizó un seminario internacional sobre la temática "Minería y Comunidad", en Quito, organizado por el Banco Mundial.

b Un ejemplo es el Plan ECO+ del Proyecto Minería sin Contaminación en Ecuador, que ofrece a los mineros una afiliación a un Estudio Colectivo de Impacto Ambiental a bajo costo, con el compromiso de invertir el dinero que hubiera costado un estudio individual, en medidas ambientales (ver subtítulo 7.3). En Bolivia, el Proyecto MEDMIN está organizando un "manifiesto ambiental común" para los casi 40 ingenios de flotación de plomo-plata-zinc en la ciudad de Potosí. Un manifiesto ambiental –necesario para legalizar las plantas– cuesta para cada planta mucho menos en forma común que en forma individual (ver subtítulo 7.1)

bientales, exención de impuestos hasta impuestos sobre la emisión de contaminantes (como es muy común en varios países industrializados). A nivel de ONG's es posible de ofrecer incentivos dentro de actividades de asesoría técnica, que pueden ser considerados como opciones “win-win” (ver cap. 4.3.4).

Incentivos legales: Para la pequeña minería en muchos casos su estatus informal es el mayor obstáculo para su desarrollo. La expectativa de ser legalizado a cambio de un cumplimiento ambiental voluntario, puede representar un incentivo importante para la minería informal^a.

4.3.4. Opciones “win-win” para el cumplimiento ambiental

Dentro de la asistencia técnica se debe dar primordial importancia a la transmisión de información sobre opciones “win-win” (este término del inglés significa: ganar-ganar, o mejor dicho: ambos ganan). Estas opciones son soluciones técnicas o técnico-organizativas que presentan al mismo tiempo resultados positivos a nivel técnico-económico como también una reducción del impacto ambiental. Con ello, estas soluciones ya incluyen incentivos económicos para su aplicación, que al mismo tiempo van unidos a innovaciones técnicas. Desde el punto de vista de las políticas ambientales, estas soluciones tienen mucho más valor que los intentos de lograr metas ambientales a través de mecanismos directivos de tipo legal administrativo, por ejemplo, mediante regalías, tributos y sanciones.

Las minas pequeñas muchas veces operan con márgenes de rentabilidad muy reducidos. Por esta razón, y debido a la ausencia de una conciencia ambiental, para ellos las medidas técnicas que mejorarían la situación del medio ambiente sólo sean exitosas si coinciden con la idea de una producción incrementada. Se debe realizar dicha fusión entre economía y ecología para asegurar que los mineros apliquen estas medidas. Se puede distinguir entre una relación directa y otra indirecta entre la economía y la

a Esto sucedió dentro de la implementación del Plan ECO+ del Proyecto Minería sin Contaminación en Ecuador, donde el Ministerio de Energía y Minas se comprometió de legalizar aquellas instalaciones de beneficio mineral, que voluntariamente se afilan al Plan Colectivo de Manejo Ambiental. (ver subtítulo 7.3). En el Proyecto MEDMIN en Bolivia, los cambios tecnológicos (p.ej. evitar el uso del mercurio en los molinos, construcción de depósitos de colas, etc.) son la base para obtener el permiso legal ambiental (ver subtítulo 7.1).

ecología. En el caso de las retortas, por ejemplo, tenemos una relación directa. A través de la tecnología para el reciclaje del mercurio, el minero puede ahorrarse el costo de comprar nuevo mercurio, un hecho que no sólo tiene ventajas financieras directas, sino que también preserva al medio ambiente de mayor contaminación.

Una relación indirecta puede ser alcanzada a través de asesoramiento técnico a las plantas procesadoras y a sus operadores. Con la aplicación del asesoramiento se optimiza la producción de una planta y, como resultado, los mineros también gastan una parte de los ingresos incrementados en medidas para preservar el medio ambiente. Por el otro lado, los mineros también disponen de mayores ingresos gracias al uso de esta tecnología.

Aparte de las ventajas financieras para los mineros arriba mencionadas, el asesoramiento en salud y seguridad también pueden ser de mucha utilidad para los mineros, ya que estos tres aspectos, los ambientales, de salud y de seguridad están interconectados y muchas veces son deficientes en la pequeña minería. En general, los mineros se preocupan por su salud y seguridad en el trabajo, y agradecen dicho tipo de asesoramiento.

La siguiente Tabla 6 muestra algunos ejemplos sencillos para opciones win-win en la minería y la fundición:

TABLA 6
EJEMPLOS DE WIN-WIN-OPTIONS EN LA MINERÍA Y LA FUNDICIÓN

AREA	OPCIÓN WIN-WIN	BENEFICIO ECONÓMICO	BENEFICIO AMBIENTAL
MINERÍA	Aprovechar las colas provenientes del beneficio de minerales como material de relleno subterráneo	El relleno reduce las pérdidas de reservas minerales en pilas Se evitan costos por la compra o producción de material de relleno adecuado	Disminuye la cantidad de material estéril que se tiene que amontonar a cielo abierto, lo cual reduce el área requerida; se estabiliza la mina lo cual aumenta la seguridad de trabajo, etc.
BENEFICIO DE MINERALES	Introducir retortas para recuperar el mercurio en la "que-ma" de la amalgama	Se reducen los gastos para comprar mercurio	Se elimina la intoxicación de los operadores y las emisiones de mercurio a la atmósfera
	Recuperar piritas auríferas de las colas de una planta de concentración de oro	Se obtienen, a muy bajo costo, productos colaterales que se pueden comercializar realizando un ingreso extra	Se reduce el contenido de sulfuros en las colas, o sea, hay menor carga de agua ácida proveniente de la oxidación de sulfuros en las colas, hay menor carga de metales pesados en los ríos, etc.
FUNDICIÓN	Tratamiento de escoria obteniendo material para construcción de carreteras	Se generan ingresos provenientes de la venta de productos adicionales	Se reduce la cantidad de escoria a ser amontonada

4.3.5. Exigencia: respuesta ante el incumplimiento

La experiencia muestra, que por lo general la exigencia es esencial para lograr el cumplimiento de los requerimientos ambientales. La exigencia al mismo tiempo señala la seriedad del requerimiento, y la seriedad de la institución que promueve los cambios en el manejo ambiental. Si no existe una respuesta clara y en lo posible inmediata en forma de consecuencias y sanciones ante un posible incumplimiento de requerimientos ambientales, cualquier cumplimiento voluntario termina pronto.

La exigencia por parte de entidades gubernamentales tiene el objetivo de corregir violaciones de la ley y crear un ambiente en el cual se fomenta el cumplimiento debido a que las autoridades demuestran su intención de hacer respetar las normas y de actuar en caso de incumplimiento.

Por otro lado también el sector privado puede ejercer “presión”. Esto puede realizarse a través de mecanismos de vigilancia y denuncia^a, por compromisos contractuales^b, y/o otras formas de crear una cierta obligación. En otros sectores económicos y sobre todo en países industrializados la población frecuentemente responde con un bloqueo de compra de los productos a violaciones de normas ambientales.

La respuesta ante una violación ambiental puede originarse en diferentes niveles según la gravedad del caso de incumplimiento con las disposiciones legales:

-
- a Los compradores de oro de Portovelo, en Ecuador, se vieron obligados a reubicarse e implementar medidas ambientales una vez que –ante repetidas protestas de la población vecina– las autoridades competentes han clausurado sus locales.
 - b Un ejemplo son los convenios entre los propietarios de las instalaciones de beneficio mineral afiliados al Plan ECO+ (Proyecto Minería sin Contaminación) y la contraparte del proyecto (Fundación CENDA), donde los propietarios entregan una garantía de fiel cumplimiento, a ser cobrada en caso de incumplimiento con la implementación de las medidas ambientales. En el Proyecto MEDMIN en Bolivia, la asistencia técnica incluye no sólo las medidas ambientales, sino también el mejoramiento de la producción. En el caso de no cumplir o descuidar las medidas ambientales, el Proyecto retira su asistencia técnica. Hasta ahora en ningún caso una mina, que ha recibido la cooperación de MEDMIN, ha corrido el riesgo de perder la asistencia técnica por no cumplir sus obligaciones ambientales.

TABLA 7

RESPUESTAS Y SANCIONES ANTE EL INCUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

INFORMAL	FORMAL		
	CIVIL		CRIMINAL
	ADMINISTRATIVO	JUDICIAL	
Conversación para mediación del conflicto. Visitas técnicas. Llamadas telefónicas, cartas a la gerencia o directiva. Involucración de los medios de comunicación. Huelgas, boicot, bloqueo de caminos de acceso, etc. Denuncia a la prensa. Denuncia ante las autoridades competentes.	Sanciones administrativas impuestas a la parte incumplida para exigir el cumplimiento. En el caso de la primera violación de normas ambientales se emite una "advertencia". En el caso de violación repetida sanciones más drásticas. En caso de incumplimiento de sanciones administrativas necesidad de recurrir a procedimientos civil judiciales.	Sanción impuesta por un juez, en caso de incumplimiento repetido o en casos de daños graves.	Aplicable o no según la legislación del país. Sanción más drástica en caso de que alguien o algo haya sufrido un daño y perjuicio y se puede comprobar la intencionalidad del incumplimiento. Ultimo recurso, pero por lo general lo más drástico y eficiente.
TAREA DE AUTORIDADES ESTATALES TAREA DEL SECTOR PRIVADO (DE LA POBLACIÓN AFECTADA)			

En todo caso se debe tener siempre en mente, que cualquier medida de exigencia tiene la única finalidad de lograr el cumplimiento de los requerimientos. Paralelamente a la evaluación de las sanciones aplicables y apropiadas al caso, se debe re-evaluar, si los requerimientos cumplen todos los criterios para ser exigibles con toda seriedad. (ver cap. 4.3.1)

Preferible antes de aplicar cualquier medida coercitiva, es buscar alternativas para solucionar el conflicto.

Formas extrajudiciales de solucionar conflictos ambientales:

La negociación entre las partes involucradas frecuentemente puede aclarar malentendidos y evitar impasses en el mecanismo de cumplimiento y exigencia. La comunidad afectada debe participar activamente en fases tempranas de posibles conflictos. Es importante que todas las partes

involucradas demuestren la mayor apertura ante los problemas y puntos de vista de los demás.

La participación de una tercera persona independiente (árbitro, mediador de conflictos) puede evitar la proliferación de un conflicto y superar un impasse. Un árbitro puede ser propuesto por parte de los afectados o por parte de los implicados. Una tercera persona o institución experimentada, puede dar una nueva dinámica, cambiar perspectivas y proponer posibles soluciones no convencionales. Mediadores especializados son necesarios para solucionar problemas altamente complejos en sus aspectos técnicos o sociales, ya que un abogado o juez generalmente no dispone de los conocimientos especializados para solucionarlo satisfactoriamente.

4.4. Gestión ambiental a nivel de la empresa

4.4.1. Prácticas sanas de gestión

Para la política ambiental de las empresas existen varios principios básicos, que pueden ser denominadas «prácticas sanas de gestión». Estas son recomendaciones generales sobre la gestión ambiental, dirigidas hacia una mejora permanente de la protección ambiental empresarial. Algunas de estas recomendaciones tienen carácter de guías (“lean and clean”, “Programa de Calidad Ambiental 5S”), otros, por ejemplo el decreto de auditoría ambiental de la Comunidad Europea (32), son normas cuyo cumplimiento al momento actual es voluntario. Se puede considerar que, en el momento actual, prácticamente todas estas recomendaciones se encuentran en su fase de “promoción de cumplimiento” (ver cap. 4.3.3)

Las “prácticas sanas de gestión” de la Comunidad Europea por ejemplo establecen:

- Se fomentará el nivel de conciencia y responsabilidad ambiental entre los empleados a todo nivel
- Se evaluará anticipadamente los impactos ambientales de cualquier nueva actividad, producto o proceso.
- Los impactos de las actividades actuales al medio ambiente local serán examinados y monitoreados, y todos impactos de estas actividades al medio ambiente en general serán evaluados.
- Se tomarán todas las medidas necesarias para evitar y eliminar los impactos ambientales y, donde esto no sea factible, se minimizará las emi-

siones y la producción de basura y se conservarán los recursos; en todo esto se toma en cuenta técnicas ambientalmente sanas.

- Se tomarán las medidas necesarias para evitar las emisiones de sustancias y energía debido a accidentes.
- Se establecerá y aplicará procedimientos para monitorear la coincidencia con la política ambiental, y en cuanto estos procedimientos requieren de mediciones y ensayos, se procederá al registro y a la actualización de los resultados.
- Se establecerá y actualizará procedimientos y medidas para aquellos casos en que se determina que la empresa no cumple con su política ambiental o con sus metas ambientales.
- En cooperación con las entidades gubernamentales se elaborará y actualizará procedimientos especiales, para minimizar en lo posible los impactos de eventuales derrames debidos a accidentes.
- La comunidad recibirá toda información necesaria para poder entender los impactos ambientales de la empresa; además, se buscará el diálogo abierto con la comunidad.
- Los clientes serán asesorados en forma adecuada sobre los aspectos ambientales relacionados con el manejo, uso y depósito final de los productos de la empresa.
- Se tomarán las medidas que garantizan, que todas las contrapartes contractuales que trabajan dentro de las instalaciones de la empresa, apliquen las mismas normas ambientales que la empresa.

El objetivo de este sistema es promover el mejoramiento continuo de la protección del medio ambiente por parte de las empresas dentro del marco de su actividad manufacturera:

- Fijar e implementar sistemas de política ambiental, programas ambientales y gestión ambiental por parte de las empresas.
- Evaluar de forma sistemática, objetiva y regular la efectividad de estos instrumentos, y
- Poner a disposición de la opinión pública las informaciones pertinentes sobre las medidas de protección ambiental por parte de la empresa.

Para mejorar la efectividad de la protección ambiental en las **pequeñas empresas mineras** se requiere de sistemas de gestión ambiental sencillos e idóneos, ya que los sistemas de gestión ambiental tradicionales no cumplen con los objetivos y no son aplicables. Estos deberían contemplar mínimo los siguientes componentes:

- Aspectos estratégicos y políticos:
 - Consideración del medio ambiente y de la protección ambiental y de los costos que de ello se derivan, en todas las decisiones de la empresa (incluye crear reservas para cubrir los gastos de cierre de la empresa y/o medidas de saneamiento, para la formación y capacitación de personal, etc.).
 - Determinación explícita en la empresa de responsabilidades con respecto al medio ambiente, a la prevención de riesgos, a la seguridad industrial, etc.
 - Aplicación de un sistema interno de monitoreo.
 - Existencia de planes de emergencia.
 - Existencia de planes de desarrollo a largo plazo para la empresa, incluyendo plan de cierre.
- Aspectos jurídicos
 - Cumplimiento de las normas legales vigentes.
- Aspectos de producción
 - Utilización de materias primas y de producción compatibles con el medio ambiente.
 - Aplicación de tecnologías y procesos limpios.
 - Introducción de innovaciones con el objeto de mejorar la efectividad de la protección ambiental por medio de medidas integradas al proceso de producción.
 - Saneamiento adecuado de material residual y desechos (reciclarlos antes de depositarlos, etc.).

Las ayudas que puede ofrecer un proyecto para el mejoramiento de la gestión ambiental de pequeñas minas se detallan en el capítulo 5, como ejemplo en el caso de la contaminación con mercurio.

4.4.2. Obligaciones ambientales en las diferentes fases de un proyecto minero

La actividad minera se realiza en fases como son: la prospección, exploración, planificación, explotación y el cierre. Cada una de estas fases tiene sus impactos ambientales, y se debe prever las medidas ambientales correspondientes para prevenir, mitigar, remediar o compensar los mismos.

La tabla que aparece a continuación recopila las diversas etapas de un proyecto minero y visualiza las áreas problemáticas en cada una de las etapas. Consideraciones análogas también son válidas para plantas beneficiadoras y fundiciones.

TABLA 8
DIVERSAS ETAPAS DE UN PROYECTO MINERO Y SU RELACIÓN
CON LAS OBLIGACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

ETAPA	OBLIGACIONES DE LA EMPRESA	COSTOS PARA LAS MEDIDAS AMBIENTALES	ÁREAS PROBLEMÁTICAS
Exploración	• Enfocar el proyecto hacia la opción con mayor compatibilidad ambiental bajo consideración de los aspectos económicos y de rentabilidad • Minimizar el impacto ambiental en esta fase, sobre todo mediante medidas organizativas	• Aprox. 5 % de los costos de exploración son costos preliminares	• Presión para reducir tiempo y costos preliminares
Planificación	• Tener en consideración todas las bases legales relevantes • Realizar un estudio de base • Evaluar el impacto de la operación planeada en todas sus fases y concepción de medidas preventivas y protectoras • Sopesar entre alternativas técnicas y la opción de abandonar (no desarrollar el proyecto) • Planificar la aplicación de tecnologías ambientalmente compatibles	• Costos absolutos comparativamente bajos, pero (-) de hasta el 20% de los costos de planificación, pero (+) con alto potencial de ahorro en las fases siguientes	• Presión para reducir tiempo y costos preliminares
Explotación	• Minimizar el impacto ambiental y los peligros para la salud mediante aprovechamiento de todas las soluciones técnicas y organizativas posibles así como apropiando y mejorando continuamente las medidas protectoras	• Aprox. 5% de los costos de la explotación	• Los altos costos de inversión para protección ambiental integrada al proceso algunas veces parecen prohibitivos, aun en aquellos casos con una rentabilidad mayor
Cierre y pasivo ambiental	• Minimizar los efectos sobre el medio ambiente producidos por la minería (colas y desmontes, edificaciones mineras, etc.)	• Generalmente gastos no planificados, los cuales en esta fase por lo general no se pueden contraponer con ninguna entrada	• En muchos casos no se conoce al responsable del pasivo ambiental o no se lo puede establecer con seguridad • Costos específicos muy altos • En muchos casos no existen retenciones o fondos para rehabilitar el terreno • Casi nunca se puede justificar su realización bajo aspectos de rentabilidad

Sobre todo en las fases de exploración, planificación y explotación de proyectos mineros es posible forzar a las empresas para que apliquen las así llamadas “prácticas de gestión sanas”.

4.5. Gestión ambiental en la pequeña minería

La gestión ambiental a nivel de pequeñas empresas mineras se basa sobre los tres pilares de la Tabla 9:

TABLA 9
LOS TRES PILARES DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA PEQUEÑA MINERÍA

GESTIÓN AMBIENTAL A NIVEL EMPRESARIAL	GESTIÓN AMBIENTAL A NIVEL REGIONAL	CONTEXTO POLÍTICO-AMBIENTAL
Se detalla más adelante en la Tabla 10	Compuesto entre otros aspectos por: • Mediación en el diálogo entre las empresas mineras y la comunidad local. • Inclusión y fortificación de las entidades oficiales locales para que asuman su tarea en cuanto a la protección del medio ambiente. • Informar a la población y toma de conciencia por parte de ésta. • Análisis ambientales con objetivos específicos, a nivel regional.	Compuesto entre otros aspectos por: • Considerar las exigencias específicas de la pequeña minería dentro de la legislación ambiental. • Iniciar y ampliar el diálogo entre el gobierno y las empresas mineras. • Asesorar a las entidades con poder decisorio en la creación de posibilidades adecuadas de legalización y en la creación de estímulos para una producción acorde con las exigencias de protección del medio ambiente

La gestión ambiental a nivel empresarial orientada a la pequeña minería se diferencia de otros sectores productivos en que:

- La minería es un sector productivo de alto riesgo financiero, y por lo tanto los mineros buscan la minimización de sus inversiones. Muchas instalaciones por lo tanto tienen un carácter “provisional”.
- Frecuentemente la pequeña minería se encuentra en la informalidad, lo que dificulta la aplicación de mecanismos formales de cumplimiento y exigencia.
- Debido a las características geológicas de los yacimientos, la explotación minera frecuentemente se lleva a cabo en regiones poco accesibles, lo que dificulta el control.
- Debido a la vida útil limitada de los yacimientos por la reducida cantidad de reservas, la minería es una actividad transitoria a nivel local. Desde el inicio de una explotación es en cierta forma previsible su fina-

lización. El cierre de una mina significa el abandono de grandes inversiones (galerías o vías de acceso) y el traslado costoso del equipo hacia otro yacimiento, al contrario del cierre de otras actividades económicas, donde el cierre permite la venta de los activos, generando ingresos.

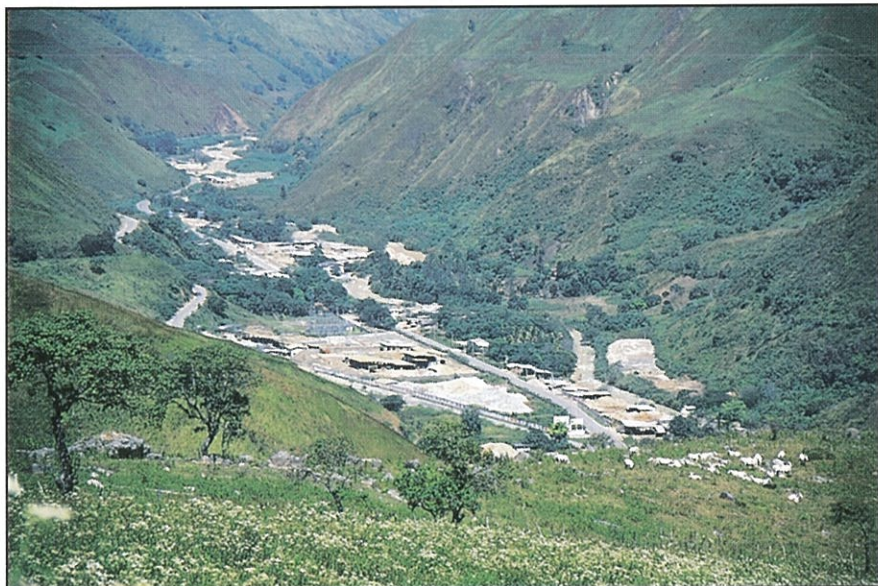
- La minería es una actividad migratoria y “nómada”, lo que significa que sólo en casos contados es llevada a cabo por la población residente preocupada por “su” medio ambiente.
- El último aspecto es fortalecido por las legislaciones mineras, que por lo general diferencian claramente entre la propiedad de la tierra y el derecho de explotación de los minerales contenidos en el suelo y subsuelo.

La Tabla 10 menciona algunos de los aspectos particulares de las posibilidades de gestión ambiental a nivel empresarial en la pequeña minería. Estos son principalmente los aspectos estratégicos, políticos, jurídicos y de producción. Los aspectos técnicos —con especial énfasis en la minería de oro y la contaminación por mercurio— son el tema central del capítulo 5.

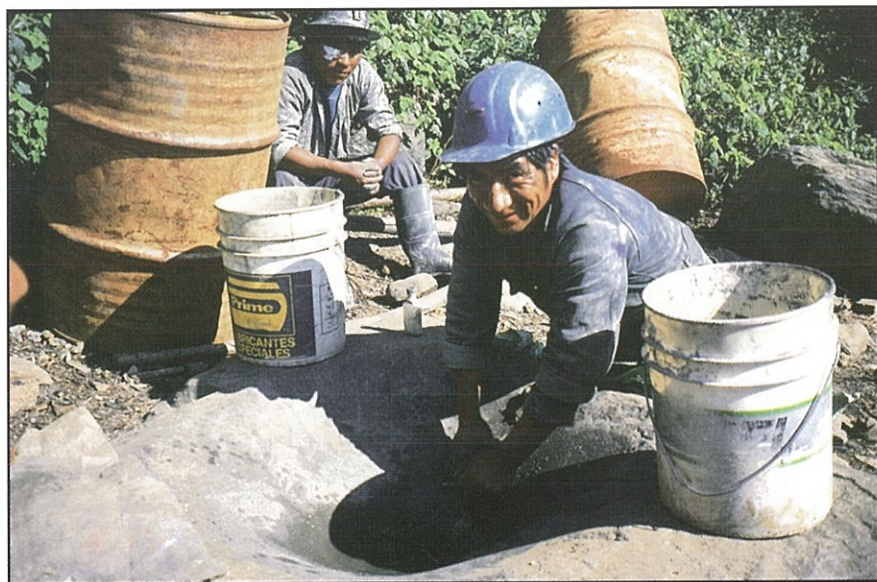
TABLA 10

GESTIÓN AMBIENTAL A NIVEL EMPRESARIAL EN LA PEQUEÑA MINERÍA

ASPECTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	APORTES DE LOS PROYECTOS DE FOMENTO
ASPECTOS ESTRATÉGICOS Y POLÍTICOS	
Tener en cuenta el entorno ambiental, la protección del mismo y de los costos que de ahí se generan en todas las decisiones de la empresa	- Formación y capacitación del personal de las empresas - Crear conciencia (sensibilizar) - Iniciar un intercambio de experiencia externo - Introducir métodos participativos para la identificación y solución de problemas y su implementación
Determinar y definir las responsabilidades dentro de la empresa con respecto al medio ambiente, la prevención de riesgos, la seguridad industrial, etc.	- Propagar la necesidad de crear el cargo de "encargado ambiental" dentro de la empresa - Capacitación y apoyo técnico de los promotores ambientales dentro de la empresa
Aplicar un sistema de monitoreo interno	- Introducción de sistemas de análisis sencillos paralelos al proceso - Capacitar a los trabajadores en la aplicación de estas técnicas - Documentación de los resultados
- Tener a disposición planes de emergencia y dispositivos de seguridad - Disponer de planes de desarrollo a largo plazo para la empresa	- Desarrollo y aplicación de sistemas de seguridad - Apoyar a las empresas en la implementación de medidas preventivas - Asistencia estratégica
ASPECTOS JURÍDICOS	
Cumplimiento de las normas legales vigentes	- Divulgación de leyes, decretos, etc. - Cursos sobre las normas legales vigentes - Asistencia a la legalización - Apoyar la realización de estudios de impacto ambiental - Introducción de sistemas colectivos para estudios de impacto ambiental, aprobación de licencias y gestión ambiental - Apoyar a las empresas en su cumplimiento de las exigencias estipuladas para la protección del medio ambiente
ASPECTOS DE PRODUCCIÓN	
- Utilización de materias primas, accesorias y de producción compatibles con el medio ambiente - Aplicación de tecnologías y procesos limpios - Introducción de innovaciones con el objeto de mejorar la efectividad de la protección ambiental por medio de medidas integradas al proceso de producción - Saneamiento adecuado de material residual y desechos (reciclarlos antes de disponerlos, etc.)	- Realizar análisis de los puntos débiles - iniciar la transferencia de tecnología y su implementación de acuerdo a la Agenda 21 - Asistencia técnica - Formación y capacitación



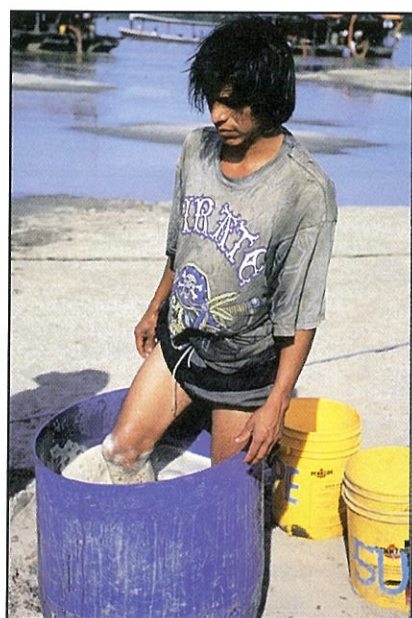
13. Minería primaria: río Calera con plantas de lixiviación (Portovelo, Ecuador)



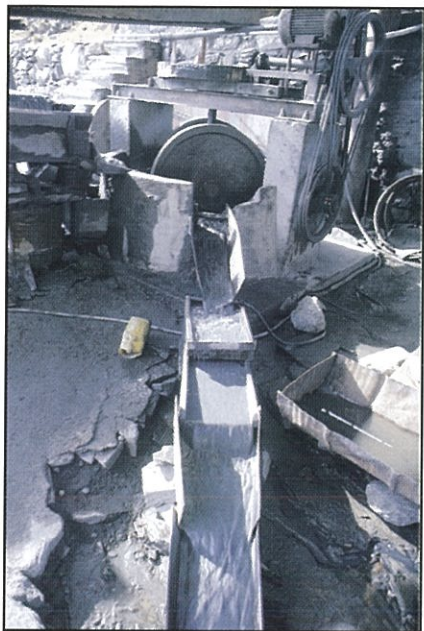
14. Amalgamación manual (con una piedra chica dentro de una grande, la piedra grande ya fue utilizada para este propósito en el tiempo de la Colonia) (Coop. Kantuta, Bolivia)



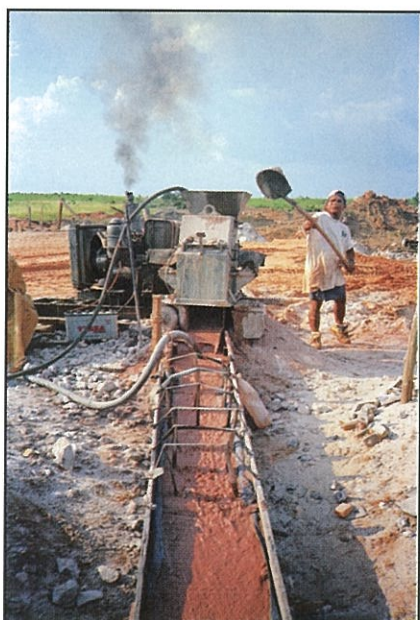
15. Amalgamación manual (dentro de una batea metálica grande) (Zaruma, Ecuador)



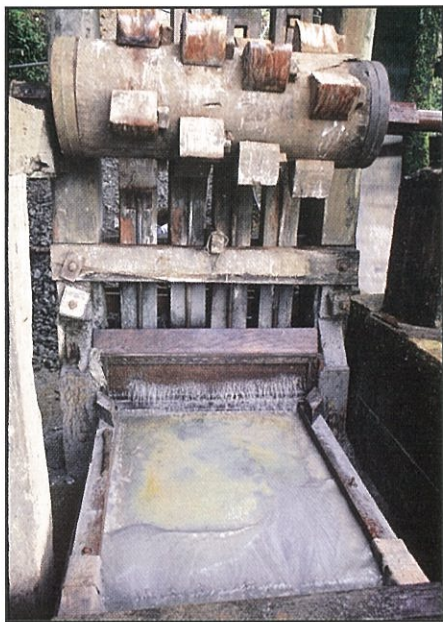
16. Amalgamación "a pie"
(río Madre de Dios,
Bolivia)



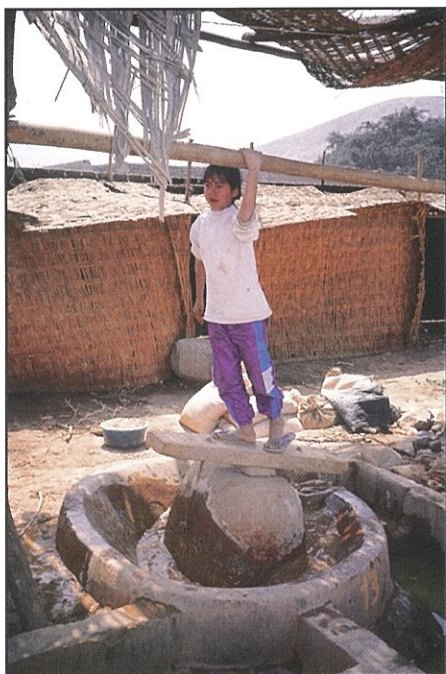
17. Molino Trapiche con plancas
amalgamadoras
(Coop. La Suerte, Bolivia)



18. Molino a martillos con planchas
amalgamadoras
(San Simón, Bolivia)



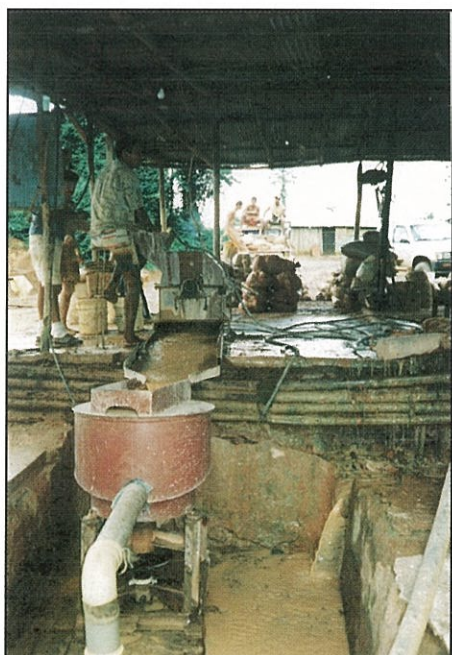
19. Molino a piones con planchas amalgamadoras (Mina Los Guavos, Nariño, Colombia)



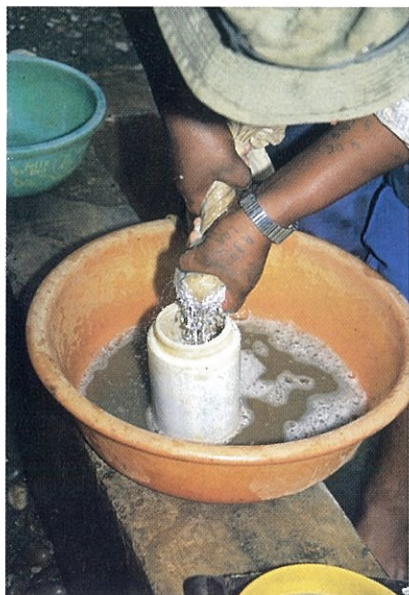
20. Molino/amalgamador de piedra (típicamente trabajo de niños o mujeres) (Nazca, Perú)



21. Amalgamador tipo "jackpot" después de molino a martillos (Cerro Azul, Tapajós, Brasil)



22. Amalgamación en concentradores centrífugos (Km 88, Venezuela)



23. Exprimir el mercurio líquido de la amalgama manualmente por un trapo (Coop. Tupara, Bolivia)



24. "Quema" de la amalgama al aire libre (río Madre de Dios, Perú)

La amalgamación en la pequeña minería aurífera y posibilidades de mejoramiento

La amalgamación es uno de los procesos más importantes en la producción del oro de la pequeña minería en los países en desarrollo. La sencillez de esta técnica y su efectividad para recuperar oro ha hecho de la amalgamación una de las técnicas preferidas por los pequeños mineros. Los riesgos de salud y los peligros ambientales, sin embargo, no son tomados en cuenta.

5.1. Distribución regional de la pequeña minería aurífera

El uso indiscriminado del mercurio es generalizado en las operaciones de la pequeña minería aurífera en el mundo, tanto en la minería aluvial como en la minería primaria. La mayoría de las operaciones de minería aurífera a pequeña escala se encuentran situadas en (33):

América Latina: Honduras, Nicaragua, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Brasil, Surinam, Venezuela y República Dominicana.

África: Ghana, Kenia, Tanzania, Zambia, Zimbabwe, Etiopía, Guinea, Liberia, Nigeria, Gabón, República Centroafricana, Burundi y Madagascar.

Asia: India, China, Filipinas, Papúa Nueva Guinea, Indonesia y Malasia.

5.2. Características generales del mercurio y su impacto ambiental

5.2.1. Propiedades físico-químicas

El mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido: su temperatura de fusión es de $-38,9^{\circ}\text{C}$ y su

temperatura de ebullición es $357,3^{\circ}\text{C}$. Su peso específico es $13,6 \text{ g/cm}^3$ (0°C). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor ($163 \times 10^{-3} \text{ Pa}$), evapora fácilmente a temperatura ambiental: a 20°C su concentración en el aire puede alcanzar hasta $0,014 \text{ g/m}^3$, y a 100°C hasta $2,4 \text{ g/m}^3$. Generalmente se habla de *vapor de mercurio* cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de *mercurio metálico* cuando está en su forma líquida.

Un gran número de metales, y mayormente oro y plata, forman aleaciones con el mercurio metálico, que se denominan *amalgamas*. Esta propiedad lo hace atractivo para la recuperación de oro en la pequeña minería aurífera.

La solubilidad del mercurio en agua depende fuertemente de la temperatura:

60 $\mu\text{g/l}$	(20°C)
250 $\mu\text{g/l}$	(50°C)
1100 $\mu\text{g/l}$	(90°C).

La solubilidad lípida (en aceite y grasas) oscila entre 5 y $50 \mu\text{g/l}$ (34).

Compuestos inorgánicos de mercurio

El mercurio metálico se disuelve fácilmente en ácido nítrico, y agua regia; en menor grado y solamente a temperaturas elevadas en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, formando sales de mercurio. El mercurio, además de mercurio metálico Hg^0 , puede existir en forma de iones Hg^{1+} y Hg^{2+} .

Los compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

sulfuros:	HgS
óxidos:	HgO
compuestos con halógenos:	Hg_2Cl_2 , HgCl_2 , HgF_2 , HgBr_2 , etc.
cianuros y tiocianatos	$\text{Hg}(\text{SCN})_2$, etc.
nitratos, sulfatos:	$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$, Hg_2SO_4 , HgSO_4 , etc.

Varios de los compuestos inorgánicos son químicamente inestables, y por lo tanto constituyen una fase intermedia en la formación de compuestos orgánicos.

Compuestos orgánicos de mercurio

El mercurio metálico también se disuelve en ácidos orgánicos, y los compuestos inorgánicos de mercurio (sobre todo los compuestos con

halógenos) pueden reaccionar con sustancias orgánicas, formando compuestos orgánicos de mercurio. En los compuestos orgánicos de mercurio el mismo por lo general forma enlaces covalentes con el carbón. Para propósitos prácticos, estos compuestos se clasifica en:

- mercurios alcaloides (metilmercurio, etilmercurio, etc.)
- mercurios ariloides (fenilmercurio, etc.)
- diuréticos de mercurio.

Los cationes de mercurio orgánicos reaccionan fácilmente con compuestos biológicamente importantes, especialmente con grupos de sulfatos hídricos. Estos compuestos traspasan membranas biológicas con facilidad.

La alta toxicidad de algunos compuestos orgánicos de mercurio (p.ej. metilmercurio), y su incontrolable comportamiento en el ecosistema han llamado la atención de los profesionales en salud y ecología.

5.2.2. Orígenes, extracción, producción y uso

La corteza terrestre contiene un promedio de aproximadamente 0,02ppm de mercurio. El aire contiene en promedio 0,005-0,06ng/m³, el agua dulce 0,1μg/l, el agua del mar: 0,03μg/l de mercurio (35). Existen más de 20 minerales diferentes que contienen mercurio. De ellos, sólo el sulfuro de mercurio (cinabrio) y algunas veces mercurio metálico son importantes para la producción. Como elemento traza, el mercurio es contenido en casi todo tipo de rocas volcánicas y seguramente se emitieron masivas cantidades de este elemento a la temprana atmósfera del planeta, debido a la actividad volcánica. Los yacimientos más importantes de mercurio están situados en estas rocas volcánicas o en pizarras negras (bituminosas). Los suelos típicamente contienen 20-150 ppb de mercurio. Algunos yacimientos se explotan exclusivamente por mercurio (como en Almadén, España, donde en el transcurso de los siglos se ha explotado más de 250.000 toneladas de mercurio y actualmente se conocen reservas mayores a 75.000 t)(38). Sin embargo, una gran parte del mercurio producido tiene su origen como subproducto de la explotación de yacimientos sulfurados de otros metales, mientras otra parte es producido por reciclaje de materiales secundarios (36, 37).

Por su baja temperatura de ebullición, el mercurio es destilado directamente de sus minerales. En algunos casos ni se utiliza una preconcentración (p.ej. flotación), sólo se calienta el material triturado directamente en va-

rios tipos de hornos para luego enfriar los gases y recuperar el mercurio metálico por condensación.

La siguiente tabla muestra las últimas estadísticas de producción de mercurio elemental a nivel mundial (Tabla 11).

TABLA 11
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MERCURIO (POR PAÍS:), EN TONELADAS (1/2/)(38)

País	1992	1993	1994	1995	1996
Argelia	476	459	414	292	300
China e/	580	520	470	780 r/	240
Checoslovaquia 3/ 4/	60	XX	XX	XX	XX
Finlandia	75 r/	101 r/	90 r/	90 e/	90
Kirghiztán	350 r/ e/	350 r/ e/	379 r/	380 r/	580
México	21	12	10 e/	15 e/	15
Marruecos e/ 5/	20	20	20	20	20
Rusia e/	70	60	50	50	50
Eslovaquia e/ 4/	XX	50	50	50	20
Eslovenia e/	7	—	—	—	—
España	36	64 r/	393	1.497	1.500
Tajikistán	100	80	55	50	45
Turquía	5	—	—	—	—
Ucrania	100	80	50	40	30
Estados Unidos	64	W	W	W	W
Total	1.960 r/	1.800 r/	1.980 r/	3.160 r/	2.890

e/ estimado

r/ revisado.

W No divulgado para evitar el uso de datos de la compañía propietaria, excluido del "total"

XX No aplicable

1/ Tabla incluye datos hasta Apr. 29, 1997.

2/ "Total" y datos estimados son redondeados (suma puede diferir del total mostrado)

3/ desintegrado Dec. 31, 1992.

4/ toda la producción en Checoslovaquia 1992 es de Eslovaquia

5/ ² mercurio producido como subproducto de minería de plata

6/ mercurio producido como subproducto de minería de oro.

A estas cifras de producción primaria se deben sumar las cantidades de mercurio secundario reciclado de:

- plantas de clorosoda obsoletas
- industria eléctrica y electrónica (termostatos, baterías, lámparas, interruptores, etc.)
- industria química (catalizadores)
- barómetros y termómetros

Paralelamente, por la toxicidad del mercurio, existe la tendencia a reemplazarlo en lo posible en sus usos antes mencionados por otras sustancias menos peligrosas, y especialmente en las siguientes aplicaciones:

- uso como pigmento (cinabrio)
- uso en forma metálica (para la amalgamación)^a
- bactericidas, fungicidas
- amalgama dental.

5.2.3. Emisiones

Las actividades industriales en el mundo han resultado en la emisión de una gran variedad de formas orgánicas e inorgánicas de mercurio. La industria eléctrica, la industria clorosoda y la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, etc.) liberan mercurio elemental a la atmósfera. El mercurio metálico es liberado directamente al agua dulce por plantas de clorosoda; compuestos de fenilomercurio y compuestos de metilmercurio son desechados tanto en agua dulce como salada —el fenilmercurio, por la industria de papel de pulpa de madera y el metilmercurio por fabricas químicas—(36).

Existe una fuente de mercurio natural que es independiente de las acciones del hombre. Este es un ciclo por el cual el mercurio es transportado a las aguas superficiales gracias a la erosión de los suelos y pasa a la atmósfera por medio de la desgasificación natural de la corteza terrestre (volcanes, erosión por medio del viento, y desgasificación de los suelos) y de los mares del planeta. Sobre la cantidad de emisiones naturales sin embargo existen cifras muy distintas: mientras unos autores hablan de cantidades de hasta 150.000 t/a, otros afirman, que las emisiones naturales no superan unas 3.000 t/a (39).

La segunda fuente de mercurio es el resultado directo o indirecto de las actividades humanas (uso de mercurio, más emisiones por la combustión de madera(40), carbón y de petróleo). Las emisiones antropogénicas están disminuyendo actualmente. Por ejemplo, en la República Federal de Alemania, de 1983 a 1985, las emisiones de mercurio al agua disminuyeron de 1.1 a 0.2 toneladas y las emisiones a la atmósfera disminuyeron de 5.5 a 4.2 toneladas (41).

a La amalgamación ha perdido mucho de su importancia anterior. En los siglos pasados fué uno de los procesos más utilizados (también en gran escala) para la extracción de metales nobles. Actualmente, se ha restringido, con algunas exepciones, sólo a la minería pequeña, informal y artesanal, debido a la difusión de técnicas como la flotación y la lixiviación por cianuro 37 38.

Desde el punto de vista de exposiciones medio ambientales, los compuestos de metilmercurio son los más preocupantes y la principal ruta para la exposición humana a este peligro es a través de la comida. El contacto ocupacional con mercurio es, por lo general, la exposición al vapor de mercurio metálico. También se lleva a cabo, aunque a menor escala, la exposición a una gran variedad de compuestos de mercurio, dependiendo de las circunstancias de cada individuo (ocupacionales, medicinales, accidentales o ambientales).

5.2.4. La cadena alimenticia y el hombre

El mercurio emitido por la pequeña minería, se acumula en los sedimentos de los ríos y en los suelos principalmente como mercurio metálico (o en algunos compuestos inorgánicos, como nitrato de mercurio, ver subtítulo 5.3.2.3. El mercurio metálico por la acción de bacterias se convierte en mercurio orgánico (42), especialmente metilmercurio. Esta forma de mercurio por la cadena trófica (microorganismos –invertebrados acuáticos– peces) se concentra y acumula en los peces, especialmente en los peces carnívoros. El factor de concentración de agua: pez puede alcanzar valores de hasta 1:5000 para mercurio metálico y de hasta 1:100.000 para mercurio orgánico. Todavía faltan datos exactos sobre la conversión de mercurio metálico a metilmercurio en varias condiciones ambientales. Se estima que no más del 1% del mercurio metálico en los sedimentos se convierte en metilmercurio (36).

La concentración de metilmercurio en los peces generalmente está relacionada con su tamaño y nicho ecológico. Concentraciones tan altas como 1 mg/kg han sido reportadas en predadores de mar abierto, tales como el pez espada y el atún. Sin embargo, en aguas industriales contaminadas, los niveles de metilmercurio podrían exceder los 10mg/kg en el tejido muscular de los peces. La acumulación de mercurio en los peces está relacionada también con la edad y su posición en la cadena alimenticia. Los animales terrestres muy raramente tienen niveles de mercurio en su tejido muscular que exceda 50 µg/kg (50 ppb) (36).

El accidente más grave y conocido ocurrió en los años 60 en Minamata, Japón. De una fábrica de cloruro de vinilo, fueron descargadas aguas contaminadas con mercurio que eventualmente llegaron a la bahía de Minamata. La acumulación del metilmercurio en los peces y mariscos de la bahía y su posterior consumo por humanos y animales resultó en un masivo envenenamiento por metilmercurio (43).

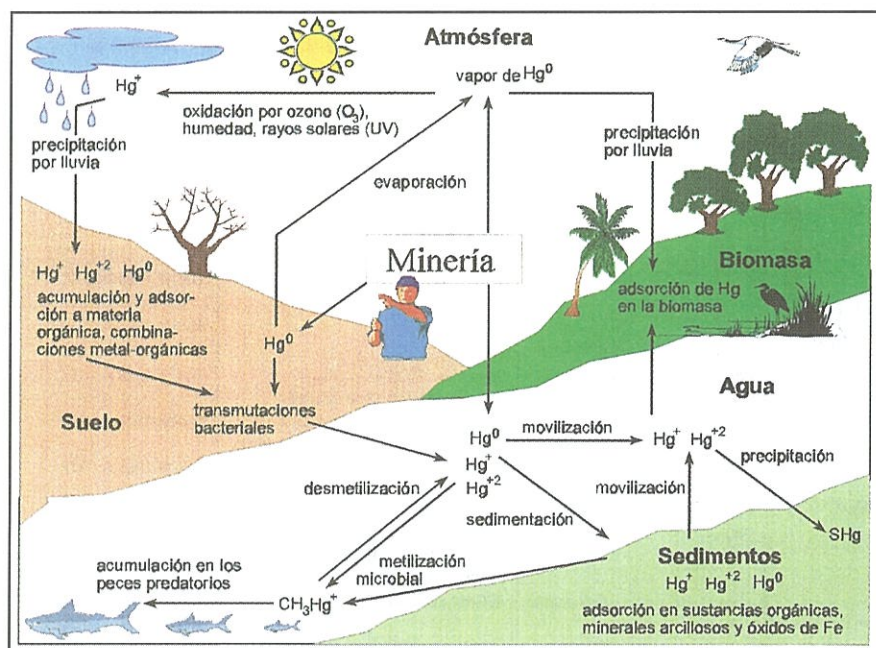
5.2.5. Evaluación del peligro y límites para las concentraciones

En la siguiente tabla se mencionan los límites sugeridos para exposición ocupacional y límites para agua, suelo y alimentos (Tabla 12).

TABLA 12
VALORES LÍMITES DE MERCURIO (44, 45)

MEDIO		VALOR	ORGANISMO O PAÍS	FUENTE
Agua	Agua potable	0,001 mg/l	OMS	LAU-BW, 1989 en: GTZ
		0,001 mg/l	Comunidad Europea, Canadá, Alemania	DVGW, 1985 en: GTZ
		0,001 mg/l	Japón	MERIAN, 1984 en: GTZ
		0,002 mg/l	EEUU / EPA: Safe drinking water act PL93-523 40 CFR 302.4	DVGW 1985 en GTZ;
	Aguas superficiales	0,003 mg/l	Suiza	Merian 1984 en: GTZ
		0,005 mg/l	ex-URSS	Merian 1984 en: GTZ
		0,0005 mg/l	Comunidad Europea, Alemania [límite para tratamiento natural]	DVGW 1985 en: GTZ
		0,001 mg/l	Comunidad Europea, Alemania [límite para tratamiento físico y químico]	DVGW 1985 en: GTZ
	Riego	0,002 mg/l	Alemania	DVGW 1985 en: GTZ
	Aire	Lugar de trabajo	0.01 mg/m3	ACGIH / EEUU [valor TWA para compuestos orgánicos]
0,01 mg/m3			Alemania [valor MAK para compuestos orgánicos]	DFG 1994 en: GTZ
0,025 mg/m3			ACGIH / EEUU [valor TLV]	ACGIH Threshold Limit Value (1994) en TEE
0,03 mg/m3			EEUU [valor STEL para compuestos orgánicos]	MERIAN 1984 en: GTZ
0,05 mg/m3			Japón, Países Bajos, Suecia, Finlandia	MERIAN 1984 en: GTZ
0,1 mg/m3			Alemania [valor MAK para Hg metálico]	DFG 1994 en: GTZ
0,1 mg/m3			OSHA / EEUU ["acceptable ceiling concentration"]	OSHA: 29 CFR 1910.1000 (1993) en: TEE
Suelo		0,3 mg/kg	Países Bajos	Terra Tech 6/94 en: GTZ
		0,8 mg/kg	Suiza	BAFUB 1987 en: GTZ
		1,0 mg/kg	Gran Bretaña [huertas]	Sauerbeck 1986 en: GTZ
		1,5 mg/kg	Gran Bretaña [jardines privados]	Sauerbeck 1986 en: GTZ
Alimentos	Límites para consumo humano	0,2 mg/sem.	OMS [consumo máximo semanal de Hg orgánico]	Clark, 1992 en: EDF
		0,3 mg/sem.	OMS [consumo máximo semanal de Hg total]	Clark, 1992 en: EDF
		0,021 mg/día	EEUU / US exposure limit	Eisler 1987 en: EDF
	Leche, queso	0.01 mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
		Huevos, carne, pollo	0,03 mg/kg	Alemania
	Embutidos	0,05 mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
		Hígado, riñones	0,1 mg/kg	Alemania
	Pescados y mariscos	0,3 mg/kg	Comunidad Europea	CE 1986 en: EDF

ILUSTRACIÓN 6
ENTRADA Y CIRCUITO DEL MERCURIO EN EL ECOSISTEMA
DEBIDO A LA MINERÍA DEL ORO (46)



5.2.6. Los impactos medio ambientales del mercurio

El mercurio en concentraciones que normalmente ocurren en el medio ambiente no es tóxico para plantas. Sin embargo, concentraciones altas inhiben el desarrollo celular y afectan la permeabilidad. Algunas plantas (papas, zanahorias, plantas acuáticas y hongos) pueden absorber mercurio. Los peces pueden acumular mercurio (ver Tabla 14) pero el mercurio generalmente no causa la muerte de estos peces. Por esto, los consumidores de ellos (p.ej. poblaciones de pescadores río abajo de operaciones de la pequeña minería aurífera) no pueden detectar, que su pescado está contaminado y lo consumen sin darse cuenta del peligro.

El monitoreo del medio ambiente, incluye el análisis de aire, agua y sedimentos para la detección de mercurio. En el marco de proyectos en Bolivia, Brasil, Ecuador y Colombia, se han demostrado valores elevados

en varias muestras. Sin embargo, de todas maneras es cierto que la contaminación de mercurio es muy difícil de detectar a través del monitoreo medio ambiental, ya que las técnicas específicas de análisis son extremadamente difíciles y costosas y sólo pueden ser manejadas por laboratorios especializados y experimentados, y la mayoría de los análisis realizados en laboratorios de países en desarrollo son solamente parcialmente correctos. La siguiente tabla muestra algunos valores promedios de mercurio de ríos con pequeña minería aurífera en Bolivia (47)^a, Ecuador (48) y Colombia (49) (Tabla 13). Valores de mercurio encontrados en peces muestra la Tabla 14.

TABLA 13
VALORES PROMEDIOS DE MERCURIO EN RÍOS (47, 48, 49)

MUESTRA	UBICACIÓN	MERCURIO ($\mu\text{g/g}$, peso seco)
Sedimento	Río Huarinilla, 2km abajo de la confluencia con el Río Chairó, Bolivia	284,7
Sedimento	Río Chairó, 20m arriba de Mina Esperanza, Bolivia	407,0
Sedimento	Río Chairó, 30m abajo de Mina Esperanza, Bolivia	578,1
Sedimento	Río Chairó, 100m abajo de Mina Unión Ideal, Bolivia	11490,0
Sedimento	Río Chairó, plataforma de Mina Cotapata, Bolivia	2237,3
Sedimento	Río Amarillo, Ecuador	0,33-3,56
Sedimento	Río Pindo, Ecuador	0,27-1,44
Sedimento	Quebrada Chachajal, Colombia	3,4 -5,1
Sedimento	Quebrada Piscoyaco, Colombia	0,38 - 4,1

TABLA 14
VALORES PROMEDIOS DE MERCURIO EN PECES

LUGAR	ESPECIE	MERCURIO ($\mu\text{g/g}$)
Río Huarinilla, Bolivia (47)	Characidae	121,8 ^b
Río Huarinilla, Bolivia (47)	Trichomycteridae	167,1
Araras-Río Madera, Bolivia (50)	Characidae	213,2
Río Madera, Brasil (51)	Dourada	2,1

a Las muestras de sedimentos de Bolivia se ha tomado en ríos donde la pequeña minería aurífera primaria usa mercurio en circuito abierto (en los molinos a bolas)

b Valor recomendado por la OMS: 0,2 $\mu\text{g/g}$

5.2.7 Los impactos del mercurio sobre la salud

La toxicidad del mercurio y su efecto en la salud humana depende fuertemente de la clase de combinación y del estado de oxidación de éste. En contacto con la piel ocasiona dermatitis pero se absorbe poco por esta vía. La inhalación de vapores y polvos de compuestos de mercurio es la forma más frecuente de intoxicación laboral.

Metabolismo:

- Aproximadamente el 80% del mercurio inhalado es absorbido por los pulmones y se reduce en un 50% en un lapso de 50 días (esta reducción a la mitad se produce cada 50 días)
- La mayor concentración se encuentra en riñones.
- Se excreta por orina y heces como combinaciones de mercurio y albúmina.

El efecto tóxico se debe a los iones de Hg^{2+} .

Síntomas de envenenamiento agudo debido a inhalaciones de vapor de mercurio son:

- Dolor de pecho
- Dificultad para respirar
- Tos
- Sabor metálico
- Náusea
- Diarrea
- Dolor abdominal
- Vómito
- Dolor de cabeza y ocasionalmente albuminuria
- Gastroenteritis aguda intensa, con un tiempo de latencia de 24 horas.
- Luego de 3 ó 4 días pueden aparecer gingivitis y nefritis, es decir, insuficiencia renal con aumento de uremia extrarrenal por albuminato de mercurio. Puede recuperarse en 2 semanas.
- En casos severos aparecen síntomas psicopatológicos y tremor de los músculos.

En caso de inhalar vapor de mercurio por mucho tiempo, se presentan **envenenamientos crónicos (Mercurialismo)**. Los síntomas son:

- En exposiciones intensas aparecen síntomas bucales, renales, respiratorios y gastrointestinales.

- En exposiciones prolongadas son frecuentes los síntomas neurológicos.
- Boca: gingivitis, destrucción alveolar, pigmentación de encías, salivación, temblor en la lengua, dificultad para hablar, alteración de la sensibilidad en la boca (gusto) y olfato.
- Nariz: epistaxis, irritación nasal.
- Pérdida del apetito y anemia.
- Neurológicos: lo más común es el temblor, primero en párpados, labios y luego en extremidades, en casos graves rigidez (espasmo clónico), además, neuralgias, parestesias, ataxia y aumento del reflejo plantar.
- Ojos: disminución de agudeza visual, opacación del cristalino.
- Psicológicos: irritabilidad, excitabilidad, insomnio, disminución capacidad de concentración, melancolía, depresión, timidez, fatiga, alteraciones de la memoria.
- Depósito en riñón, hígado, cerebro, se transmite en leche materna. Se elimina por la orina. En algunos casos se ha visto desarrollo de síndrome nefrótico (52).

Las combinaciones inorgánicas de Hg^{2+} muestran efectos de intoxicación semejantes.

Las combinaciones orgánicas de mercurio, sobre todo el metilmercurio (CH_3Hg^+), son altamente tóxicas para el hombre. Se ingieren por la alimentación. El metilmercurio se disuelve fácilmente en la grasa y pasa la barrera sangre - cerebro y la placenta; tiene potencial mutágeno y teratígeno. Los síntomas típicos de una intoxicación solamente se reconoce después de unas semanas (exceptuando temblor patológico):

- campo visual restringido
- pronunciación y escritura poco claras
- hipersensibilidad anormal
- irritación dérmica
- hemorragia nasal
- depresión
- irritación del sistema nervioso (53, 54, 55, 56, 57, 58)

Además de análisis químicos de cabello, uñas, orina o sangre, para la detección de mercurio en el organismo, se deberían también realizar exámenes médico-clínicos para detectar la intoxicación o contaminación por mercurio. En el marco de proyectos en Bolivia, Brasil y Ecuador se ha monitoreado la salud de los mineros, sus familias, de compradores de oro y

la población que habita en la región minera y, en algunos casos, se encontraron valores que sobrepasaban las concentraciones límite. Es importante señalar, como ya fue mencionado, que solamente unos cuantos laboratorios especializados y experimentados pueden manejar los análisis técnicos de extrema dificultad y de elevado costo requeridos para la detección del mercurio. Además, la técnica para tomar muestras de sangre para exámenes que detecten este elemento es complicada (59, 60).

La conclusión común a que llegaron estos estudios fue, que un gran número de mineros de la pequeña minería aurífera está afectado por agudos y crónicos envenenamientos por mercurio.

Frecuentemente la exposición a mercurio no se limita a los mismos mineros, sino se extiende a sus familiares. Esto se debe a que en muchos de los casos los mineros artesanales queman la amalgama sobre la estufa de su cocina o en el patio de sus casas, donde tienen la mayor privacidad^a (52, 61).

5.3. La amalgamación como técnica de procesamiento. Situación actual

5.3.1. Historia y antecedentes técnicos

La amalgamación es un proceso que se aplica para recuperar oro y plata nativa de materiales auríferos o argentíferos. El oro, la plata y varios otros metales y sus compuestos son capaces de alearse con el mercurio. Dichas aleaciones se conocen como amalgamas. La amalgamación en la minería aurífera sirve para recuperar el oro en forma de amalgama y así separarlo de los minerales acompañantes. La amalgama se forma por el contacto entre mercurio y oro en una pulpa con agua. El mercurio puede estar presente en forma de “perlas” dispersas en la pulpa o extendido sobre una superficie (planchas amalgamadoras). El primer uso de la amalgamación

a Una encuesta entre niños de edad escolar (3000 encuestados) en la región de Portovelo/ Zaruma (Ecuador) concluyó en que alrededor de 53% de los niños han visto y presenciado la quema de amalgama en o cerca de su casa. Por otro lado un estudio médico con examen clínico y muestras de sangre y orina entre mineros, familiares, vecinos y niños (50 cada grupo) en la misma región, dió como resultado, que la mitad de los mineros presentó impregnaciones de mercurio, mientras los demás grupos poblacionales (con mínimas excepciones) había que considerar como no-afectados 61.

para la producción de oro probablemente data de la minería en Bosnia, en época de Nerón (54-68 a.C.). Hasta el día de hoy la pequeña minería aurífera utiliza esta técnica de manera generalizada.

El oro libre (nativo) en un tamaño de grano entre 20-50 μm y 1-2mm es apropiado para la amalgamación. El oro grueso se puede recuperar fácilmente con métodos gravimétricos. En el proceso de amalgamación, el oro se disuelve mínimamente en el mercurio. La amalgama contiene generalmente partículas de oro superficialmente aleadas con el mercurio y ligadas entre sí por el mismo.

En principio, todo el oro libre y limpio (p. ej. no cubierto por óxidos de hierro) se amalgama. Sin embargo, frecuentemente el mineral bruto puede contener ciertos minerales acompañantes y/o impurezas con efectos negativos para el proceso de amalgamación. Algunos de tales problemas se describen a continuación:

- Los sulfuros de arsénico, antimonio y bismuto reaccionan con el mercurio, produciendo una pérdida significativa del mineral precioso y mercurio. En un ambiente oxidante (p.ej. con aguas ácidas de mina), también la pirrotina y en menor grado la pirita y calcopirita pueden tener un efecto negativo sobre la amalgamación.
- La baritina, el talco, la esteatita y otros silicatos hidratados de magnesio y aluminio también podrían interrumpir el proceso e incrementar las pérdidas de oro y mercurio.
- Los lubricantes y las grasas son extremadamente problemáticos, porque se fijan al mercurio y tienden a atrapar sulfuros, talco, arcillas y otros minerales. Como resultado, el mercurio es cubierto por una sólida película de finas partículas. Adicionalmente, la presencia de aceites lubricantes o grasas causan la flotación del oro, el cual es alejado del contacto con el mercurio. Tales factores, naturalmente bajan la recuperación del metal precioso en un proceso de amalgamación. Las medidas preventivas para evitar dichos factores negativos incluyen, añadir agentes limpiadores, algún detergente fuerte o la savia (“jugo”) de una planta como el sisal (fique o pita), cuyas hojas son frecuentemente utilizadas para ese propósito en Colombia; el objetivo de su uso es saponificar el aceite y la grasa. Otros agentes frecuentemente utilizados para mejorar el rendimiento de la amalgamación son: la panela (concentrado de caña de azúcar), el limón, trazas de cianuro, gasolina, etc.
- Tanto el aluminio o el cobre metálico de los detonadores o cables eléctricos, como el plomo metálico (en forma de perdigones o balas de caza-

dor en la minería aluvial) y el zinc metálico de baterías pueden amalgamar, consumir y ensuciar el mercurio. Las amalgamas de estos metales frecuentemente se dispersan en forma de partículas finísimas bajo condiciones oxidantes.

- Las aguas ácidas de mina, frecuentemente utilizadas como agua de procesamiento, también tienen efectos dañinos para la amalgamación (por la oxidación de sulfuros, ver arriba). La adición dosificada de cal neutraliza parcialmente dichos efectos.

Información detallada sobre los efectos de otros minerales y sustancias químicas sobre la amalgamación se encuentra en la literatura pertinente (62).

5.3.2. La aplicación de la amalgamación en la pequeña minería aurífera

Existen operaciones mineras pequeñas donde no se utiliza amalgamación. Estas son mayormente minas que trabajan en aluviones con oro grueso, donde la amalgamación no es necesaria (p.ej. en algunas minas en el Río Conzata, Bolivia). Aparte de estas operaciones mencionadas, el uso de la amalgamación en la pequeña minería aurífera es generalizado.

5.3.2.1. Procesos aplicados de amalgamación

La amalgamación se utiliza tanto en la pequeña minería primaria (de vetas o filones) como en la pequeña minería aluvial. Se puede diferenciar dos tipos de técnicas principales:

1) Amalgamación en “circuito abierto”

Significa que toda la carga (el material aurífero) se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo de pulpa^a. No es posible recuperar todo el mercurio en forma de amalgama, una parte de éste, en forma metálica libre (gotas o partículas finísimas) o en forma de amalgama (partículas finas o flóculos) escapan con las colas, contaminando una gran cantidad de material.

a En la minería aluvial, muchas veces una parte de la carga bruta (el estéril grueso) se elimina vía clasificación, antes de entrar al proceso de concentración.

2) Amalgamación de concentrados (o amalgamación en “circuito cerrado”^{a)})

Esto significa que sólo una pequeña parte del material tratado (un “concentrado”, generalmente producido gravimétricamente), se pone en contacto con el mercurio en un ambiente parcialmente o totalmente cerrado, donde la amalgamación se realiza sin la emisión de porción alguna de pulpa (p.ej. en un tambor amalgamador).

Para completar el proceso la amalgamación deben seguirse con los siguientes pasos:

- separación amalgama-minerales acompañantes
- separación mercurio libre-amalgama
- separación oro-amalgama.

La Tabla 15 muestra la aplicación actual de diferentes técnicas de amalgamación en la pequeña minería aurífera primaria y aluvial

TABLA 15
PRINCIPALES PROCESOS DE AMALGAMACIÓN UTILIZADOS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA

Proceso de amalgamación	En la pequeña minería primaria	En la pequeña minería aluvial	Utilizado mayormente en circuito abierto
In situ	no	sí	sí
En canaletas (sluiceboxes)	sí	sí	sí ^b
En molinos (trapiche, a bolas, de pisones, manuales)	sí	no	sí
En centrífugas (tipo Knelson)	sí	sí	sí
En jackpot	sí	sí	sí
En planchas amalgamadoras	sí	sí ^c	sí
Manual	sí	sí	no
En tambores amalgamadores	sí	sí	no

- a Sin embargo, las colas de la amalgamación de concentrados todavía contienen mercurio, en cantidades variables (dependiendo del tipo de carga y proceso de amalgamación utilizado). La amalgamación p.ej. en un tambor amalgamador se hace en un “ambiente cerrado”; la amalgamación manual se hace en un “ambiente semi-cerrado”. Se advierte que un proceso no puede considerarse completamente como “circuito cerrado” si sus colas contaminadas se vacían al medio ambiente o si hay fugas de mercurio p.ej. por evaporación durante el proceso.
- b En las pequeñas minas aluviales en la región amazónica de Brasil, que trabajan casi exclusivamente con el sistema de monitor-bomba de grava-canaleta, se utilizan canaletas también para amalgamar concentrados gravimétricos. El día del alza (lavado de las alfombras y resumen), la salida de la canaleta se tranca con un listón de madera. Al sacu-

5.3.2.1.1. Amalgamación in situ

La amalgamación in situ se aplica solamente en la minería aluvial. El mercurio es echado directamente a la poza de excavación, luego con el movimiento y el transporte de la carga, el oro libre existente se amalgama parcialmente. Esta técnica es utilizada frecuentemente en minas aluviales que tienen el sistema monitor-bomba de grava-canaleta. La amalgamación se realiza tanto en la poza o tajo, como durante el paso de la pulpa por la bomba y la tubería hacia la canaleta. Por la fuerte agitación de la pulpa durante el transporte, una gran parte del mercurio se pulveriza y se pierde en las colas junto con los flóculos de amalgama. Ni el mercurio pulverizado, ni los flóculos de amalgama pueden ser recuperados eficientemente por la canaleta. **Las pérdidas de mercurio son sumamente altas y la recuperación de oro fino es baja.**

5.3.2.1.2. Amalgamación en canaletas

Al margen del uso de aparatos amalgamadores diseñados específicamente para este proceso, la amalgamación también puede realizarse en otros artefactos normalmente utilizados para la separación gravimétrica con agua; el artefacto más comúnmente utilizado es la canaleta. La amalgamación en canaletas es frecuentemente practicada tanto en la minería de oro aluvial como en la primaria.

El mercurio se coloca entre las rejillas de una canaleta o en depresiones del piso de la misma. La canaleta se opera entonces de la misma manera

dir y lavar las alfombras en la parte superior, se adiciona mercurio a la canaleta. Simultáneamente que dos hombres sacuden las alfombras, otros dos agitan la pulpa con la mano. La bomba trabaja con pocas revoluciones, alimentando una cantidad reducida de agua a la canaleta. Por la agitación se realiza simultáneamente la amalgamación y el descaje del concentrado (eliminación de cuarzo). Al final, cuando no se ve más oro libre, se retira el listón, se recoge el concentrado con la amalgama en un balde, para luego separar la amalgama utilizando una batea. Este proceso también puede constituir una amalgamación en circuito abierto, por que el agua junto con el cuarzo de descaje al pasar primero por un balde para retener fugas, igualmente se vierte al ambiente. Al contrario de otros procesos en circuito abierto, la cantidad procesada (por ser un concentrado gravimétrico) es relativamente pequeña (50-100 kg). Las pérdidas dependen mucho del cuidado con que se trabaje, normalmente están por debajo del 2% del mercurio utilizado, pero pueden ser algo menores o mayores.

- c El uso de planchas amalgamadoras en la minería aluvial no es frecuente.

que para una separación gravimétrica normal. El oro fino, cuando tiene una superficie limpia, se amalgama en lugar de ser transportado fuera de la canaleta. Sin embargo en muchos casos, el oro pasa por la canaleta sin amalgamarse para luego perderse en las colas (porque la superficie del oro o del mercurio está sucio). **Este proceso –al margen de producir una recuperación limitada– emite grandes cantidades de mercurio.** Muchas veces, la pulpa pasa por un barril de retención antes de llegar a la canaleta, donde se coloca mercurio para una amalgamación previa. Con este dispositivo adicional, las pérdidas de mercurio son aún más altas.

5.3.2.1.3. Amalgamación en molinos

En la minería primaria, el oro debe ser liberado previamente por **trituration y molienda**. Muchas veces aprovechan la etapa de molienda para realizar simultáneamente el proceso de amalgamación, es decir una combinación de molienda-amalgamación. Aquí, el mercurio se vierte dentro el equipo de molienda y la amalgamación del oro se lleva a cabo en circuito abierto. Este tipo de amalgamación se realiza en los siguientes tipos de molinos (ver fotos 17, 18, 19, 20):

- a bolas
- de piones
- chileno (trapiche)
- manual (toloca)
- a martillos.

En este proceso, una parte de la amalgama se queda en el recipiente del molino (tambor, tazón, etc.). Otra parte sale del molino y es parcialmente recuperado por métodos gravimétricos (canaletas, trampas, etc.) o planchas amalgamadoras. Sin embargo, **las pérdidas de mercurio en las colas, especialmente en forma de mercurio finamente molido o harina de mercurio (“floured mercury”) son muy altas.**

5.3.2.1.4. Amalgamación en concentradores centrífugos

Los concentradores centrífugos “originales”, como el Knelson o Falcon fabricados en Canadá, se encuentran muy poco en la pequeña minería latinoamericana, por diferentes razones (ver subtítulo 5.4.2.1.6). Sin embargo, existen copias realizadas por talleres locales. Estas copias de centrí-

fugas, generalmente no tienen la misma eficiencia que las originales. Por esta razón, estos equipos “caseros”, frecuentemente son convertidos en amalgamadores de circuito abierto (p.ej. en “Km 88”, Venezuela; Tapajós - Brasil; San Simón - Bolivia; ver foto 22). La operación en este equipo, consiste en colocar mercurio en el fondo del recipiente cónico y en los espacios anulares del mismo, luego por efecto de la fuerza centrífuga se logra el contacto oro-mercurio, produciéndose la amalgamación. Debido a las altas velocidades de flujo circular que ocurren dentro de la centrifugadora, se produce una **alta pérdida de mercurio** finamente dispersado.

5.3.2.1.5. Amalgamación en amalgamadores tipo “jackpot”

El oro también es amalgamado en dispositivos del tipo “jackpot”, estas son trampas llenas de mercurio, generalmente instaladas a la salida de los molinos o antes de las canaletas (ver foto 21). Estos amalgamadores deberían ser evitados por sus **altas pérdidas de mercurio**, especialmente con carga gruesa.

5.3.2.1.6. Amalgamación con planchas amalgamadoras

Las planchas amalgamadoras se utilizan en la minería primaria para la recuperación de oro fino (molido); por esto, estas se colocan a la salida del molino. La pulpa (mezcla de mineral con agua) corre sobre las planchas de cobre o metal Muntz (60% cobre, 40% zinc) ligeramente inclinadas, que tienen una capa de plata aplicada electrolíticamente. Sobre la plata se aplica una capa de mercurio o amalgama (de plata o de oro). El oro al hundirse en la pulpa, se pone en contacto con el mercurio y se queda formando amalgama. Para mantener su funcionamiento, las planchas deben ser “activadas” periódicamente, es decir que necesitan una nueva carga de mercurio para que el atrapamiento de oro no cese y la amalgama tenga una consistencia favorable (especie de masa plástica). Cuando la capa de amalgama es bastante apreciable, esta se remueve y separa con una espátula de goma.

Cuando se utiliza mercurio dentro el molino, las planchas amalgamadoras sirven para retener parcialmente la amalgama que no queda dentro. En algunos tipos de molinos (de pisones, trapiches) se colocan planchas amalgamadoras en las paredes de estos.

Las planchas tienen que ser limpiadas varias veces al día y ser reacondicionadas para su reutilización, Tales operaciones demandan bastante tiempo e implican –por el alto valor del producto– bastante riesgo de robo.

Se han desarrollado algunas soluciones locales para resolver el problema de preparación y limpieza de las planchas, como restregar las láminas con orina, savia de Sisal (fique o pita), detergente, etc. Tarde o temprano las planchas requieren un nuevo electroplateado.

Generalmente, la eficiencia de las planchas amalgamadoras no es muy alta (especialmente con material sulfuroso), debido a varias razones:

- en muchos casos, el oro sale del molino cubierto por una pátina de óxidos de hierro, y pasa por la plancha sin amalgamarse
- arrastre mecánico de amalgama por partículas gruesas de ganga
- el mercurio sobre la plancha se contamina con varias sustancias, que dificultan o inhiben el contacto. (“sickening”), (ver subtítulo 5.3.1) (62).

En algunos casos en minería aluvial se utilizan también planchas amalgamadoras. Para esto se requiere eliminar las piedras gruesas, a fin de disminuir el efecto del arrastre mecánico.

El riesgo para la salud de los trabajadores que manejan planchas amalgamadoras es elevado, ya que el mercurio se evapora a temperaturas relativamente bajas (ver subtítulo 5.2.1). La evaporación durante la aplicación de mercurio a las planchas es tan grande, que la intoxicación de los trabajadores es significativa (ver foto 25).

Las pérdidas de amalgama, oro y mercurio utilizando planchas amalgamadoras en circuito abierto pueden ser altas. Además, el riesgo de intoxicación de los operadores por la evaporación del mercurio durante la preparación de las planchas es elevado. Por esto, este proceso no se considera recomendable y debe ser evitado.

5.3.2.1.7. Amalgamación manual

En la minería primaria y aluvial, la amalgamación manual se realiza generalmente con concentrados obtenidos gravimétricamente. Algunas veces, se lo efectúa también con los “pies” (ver foto 16). Existen concentrados, especialmente aluviales, muy fáciles y rápidos de amalgamar utilizando un simple balde y un palo de madera, debido a que el oro es limpio y los minerales acompañantes inocuos (arenas negras), obteniéndose una buena recuperación de oro y pérdidas mínimas de mercurio en las colas de amalgamación (p.ej. Tapajós- Brasil; Río Madera - Bolivia).

Normalmente, los concentrados sulfurosos requieren mucho mas esfuerzo y tiempo (varias horas) para su amalgamación, utilizando a veces un

mortero de piedra y otras una batea grande (ver fotos 14 y 15). Si bien el mercurio se encuentra dentro la pulpa, en este caso, los **riesgos para la salud de los trabajadores** por el alto tiempo de exposición y la inhalación de vapores de mercurio, pueden ser elevados (48).

5.3.2.1.8. Amalgamación en tambores amalgamadores

Los tambores amalgamadores se utilizan frecuentemente tanto en la minería primaria como en la minería aluvial, para amalgamar concentrados gravimétricos. Se encuentran diferentes modelos, como también mezcladoras de hormigón. **En algunos casos, los tambores amalgamadores se utilizan simultáneamente para moler y amalgamar concentrados, con pérdidas significativas de mercurio molido** en las colas de amalgamación. Los tambores amalgamadores son útiles para efectuar una amalgamación controlada en circuito cerrado, sobre todo, el proceso puede ser muy bien optimizado (ver subtítulo 5.5.1.4).

Existen otros equipos para la amalgamación mecánica en circuito cerrado como los “conos amalgamadores”, donde la pulpa se agita mediante un agitador de mariposa, este dispositivo es utilizado principalmente en Venezuela (Río Caroní). Otros equipos mecánicos conocidos como el “Berdan Pan” no son de uso frecuente en Latinoamérica.

5.3.2.2. Procesos aplicados a la separación de amalgama y minerales acompañantes

Sólo en las placas amalgamadoras se obtiene una amalgama bastante libre de minerales acompañantes. En todos los otros procesos arriba descritos, se obtiene una mezcla de amalgama, mercurio líquido y algunos minerales pesados acompañantes. La amalgama, como “masa pesada”, se separa de los otros minerales por métodos gravimétricos. Utilizándose normalmente:

- canaletas
- bateas manuales
- bateas mecánicas
- elutriadores (separadores hidráulicos)
- planchas amalgamadoras.
- centrífugas

Las pérdidas de amalgama y mercurio en las colas con estos dispositivos o equipos pueden ser elevadas. Se pierde una gran parte del mercurio

molido (harina de mercurio). Por esto, es indispensable efectuar la amalgamación de manera que se elimine o reduzca la producción de harina de mercurio y flóculos de amalgama (ver subtítulo 5.5).

5.3.2.3. Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama

Dependiendo de la relación mercurio/oro utilizado en el proceso de amalgamación, la amalgama sale “seca” con alto contenido de oro, o “líquida” con poco contenido de oro. Para reducir la cantidad de mercurio molido, es preferible conseguir una amalgama seca (ver subtítulo 5.5). Generalmente en el siguiente paso, el mercurio que no está aleado (mercurio libre) debe ser separado de la amalgama, y en el último paso, el oro debe ser separado del mercurio.

La separación mercurio libre - amalgama, generalmente se lleva a cabo por exprimido o estrujado manual, utilizando una tela fina (generalmente la camisa de un minero) o cuero, donde se confina la mezcla mercurio - amalgama (ver foto 23). Luego de exprimir, la amalgama queda sobre la tela como una masa consistente, mientras que el mercurio líquido libre pasa a través de la tela y se recibe sobre una batea u otro recipiente apropiado. Sin embargo, en estos métodos manuales de separación, debido a que el operador se pone en contacto directo con el mercurio, éste corre peligro de intoxicación, y por la baja presión aplicada al exprimir, esta operación rinde una pobre eficiencia de separación. Por esto, se recomienda usar guantes de goma –o mejor– utilizar métodos mecánicos (prensas, centrífugas, etc.).

5.3.2.3.1. Prensas de amalgama

Para mejorar la separación mercurio libre - amalgama, algunos utilizan prensas para amalgama, estas permiten aplicar más presión que el exprimido manual. Las prensas de amalgama, al menos los modelos más sencillos, pueden ser fabricados localmente a bajo costo. Cualquier buen taller de metal-mecánica, puede fabricar fácilmente las prensas para amalgama, utilizando uniones de rosca de tipo comercial (33).

En general, si previo al exprimido manual o prensado mecánico, la mezcla se introduce en agua caliente para calentarla, la separación mercurio-amalgama es mucho más fácil y eficiente. Al elevar la temperatura se

disminuye la viscosidad de sus componentes, dando una mejor separación de mercurio y amalgama en una tela o una prensa.

5.3.2.3.2. Centrífugas

En algunos casos se utiliza la fuerza centrífuga, para separar eficientemente la amalgama del mercurio libre. Se coloca la amalgama exprimida a mano, en un tubo con tapas de malla metálica fina. Este tubo se coloca dentro una centrífuga (p.ej. un concentrador Knelson). Las altas revoluciones del aparato generan una fuerza centrífuga que ayuda a que más mercurio libre salga del tubo y sea recuperado en el recipiente exterior. Así **se obtiene una amalgama muy seca**, que facilita después la separación oro-mercurio.

5.3.2.4. Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio

La separación de la amalgama en sus componentes, oro y mercurio, se la puede realizar por vía térmica o química. Por lo general, en la pequeña minería se prefiere la separación térmica.

5.3.2.4.1. Separación térmica

El mercurio evapora a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura lo suficientemente mas alta para evaporar el mercurio. El oro permanece en el recipiente calentado como producto final. **Desafortunadamente, esta separación térmica es muchas veces practicada de una manera muy directa y elemental, a “crisol abierto” o “quema” abierta, liberando el vapor de mercurio altamente tóxico directamente a la atmósfera, contaminando el medio ambiente, poniendo en peligro la salud del trabajador y de la población que habita en el entorno.** Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores a gas o sopletes de diferente índole. La mayor parte del mercurio vaporizado se asienta en los alrededores del lugar de la quema (normalmente el campamento minero), contaminando suelos, alimentos, y seres vivos del lugar (ver foto 24). Con el tiempo y las lluvias, el mercurio sedimentado en la capa superficial de la tierra, es transportado a los ríos próximos. En muchos casos, la amalgama se quema dentro la vivienda o la cocina del minero.

Existen diversas formas consideradas algo “avanzadas” para realizar esta quema en ambiente semi-cerrado, estas incluyen las siguientes^a:

- dispositivo con un recipiente y un plato (63).
- sistema cubierto: dependiendo de la región, a veces con una hoja de bananero, papas o un zapallo, colocados sobre la amalgama en la bandeja de quemado, estas ayudan a recuperar parte del vapor de mercurio, por condensación sobre su superficie.

Desafortunadamente la separación oro-mercurio, muy excepcionalmente se realiza en circuito cerrado utilizando una retorta. Sin embargo, existen algunas minas donde utilizan retortas de fabricación industrial (ver foto 39) o casera (ver foto 40). Una descripción más detallada del uso de la retorta se encuentra en el subtítulo 5.5.5.1.

5.3.2.4.2. Separación química

También existen métodos químicos para la separación oro-mercurio de la amalgama. Podemos citar el método de disolución de mercurio de la amalgama en ácido nítrico. Este proceso lo utilizan sólo algunas minas auríferas. Si bien la eficiencia de separación de los dos metales es buena, los impactos ambientales por la emisión de vapores y soluciones residuales pueden ser graves. Más aún, los operadores del sistema se exponen peligrosamente a la fuerte emisión de gases nitrosos durante el proceso. El subtítulo 5.5.5.2 presenta una descripción más amplia del proceso.

5.3.3. Pérdidas de mercurio durante los procesos tradicionales

Se ha podido observar que las emisiones de mercurio al medio ambiente se producen en las siguientes etapas:

- Emisiones de mercurio en circuitos abiertos, cuando la amalgamación ocurre antes, junto o después de la molienda y/o la preconcentración (uso de mercurio “in situ”, en canaletas, en molinos, en planchas amalgamadoras, etc.).

a Estos metodos rusticos recuperan solo una parte del mercurio, ponen en peligro a los operadores y al medio ambiente y no pueden reemplazar una retorta (igual que el famoso metodo de la papa cortada).

- emisiones de mercurio después de la etapa de preconcentración o concentración (por la amalgamación de concentrados).
- emisiones de mercurio durante la separación de oro y mercurio (generalmente al quemar la amalgama, alguna vez en la disolución del mercurio con ácido nítrico).
- emisiones de mercurio durante la refinación del oro (en las casas compradoras de oro).
- emisiones de mercurio durante su manejo y transporte (derrames de mercurio).
- desechado de “mercurio cansado”.

El uso de mercurio en circuito abierto es el problema que sin duda acarrea las mayores pérdidas de mercurio en la producción de oro. Las minas primarias en Brasil y Bolivia, que utilizan mercurio directamente en sus molinos para realizar molienda y amalgamación simultánea (64), pierden entre 5 y 10 kg de mercurio (en casos extremos hasta 25 kg) para recuperar 1 kg de oro. Por lo general, el intento de recuperar amalgama lo realizan con simples trampas gravimétricas o planchas de amalgamación. Por esto las colas contienen aún oro libre, amalgama y mercurio libre.

En la minería aluvial, las pérdidas de mercurio son casi tan altas como las arriba mencionadas, cuando el mercurio se añade directamente a la grava aurífera in situ, antes del bombeo, o en un barril mezclador previa a la canaleta o directamente dentro de ésta. Venezuela, Brasil y Colombia son algunos de los países donde se sigue este procedimiento.

Experiencias y evaluaciones realizadas en ambos casos (uso de mercurio en circuito abierto en la minería aluvial y adición de mercurio al molino en minería primaria), demostraron que la recuperación de oro, por lo general, es menor que cuando se utiliza un equipo de concentración gravimétrica cuidadosamente diseñado y operado. Por falta de conocimientos técnicos los mineros no logran por sí mismos esta optimización; por esta razón siguen utilizando mercurio en circuito abierto, aunque, desde el punto de vista técnico-económico, la amalgamación en circuito abierto no presenta ninguna ventaja para los mineros. Un menor consumo de mercurio y una mayor recuperación de oro, implica un ingreso más alto, hecho que los mineros entienden bien. Un concentrado muy rico implica menos colas de amalgamación (menor contaminación), o en algunos casos, la posibilidad de fundición directa. Por lo tanto, mejorar los procesos de concentración gravimétrica juega un papel importante en la reducción de la contaminación con mercurio (ver subtítulo 5.4.2).

Lamentablemente, entendemos que de hecho, sólo en raras ocasiones se podrá reemplazar la amalgamación por otra técnica en las operaciones de la pequeña minería, ya que la amalgamación es y seguirá siendo el método más sencillo y efectivo para separar oro de otros minerales pesados, que son recuperados en forma conjunta en un proceso gravimétrico. **Debemos restringir la amalgamación a la amalgamación de concentrados.** Durante la amalgamación de concentrados, inevitablemente se pierde en las colas un porcentaje del mercurio utilizado, debido a que estas por lo general no son depositadas de manera segura. La producción de “mercurio molido” o “harina de mercurio” que no puede ser recuperado satisfactoriamente por métodos gravimétricos, ni con planchas amalgamadoras, depende fundamentalmente de la naturaleza de los concentrados y de la forma que se realice la amalgamación.

En la minería aluvial existen concentrados gravimétricos, donde el oro es limpio y los minerales acompañantes son inocuos. En estos casos, con una amalgamación cuidadosa de concentrados, las pérdidas de mercurio o amalgama en las colas son mínimas (p.ej. < 0,5 % de mercurio utilizado). Sin embargo, existen concentrados donde algunos de sus componentes contaminan el mercurio, o el mismo oro está cubierto por pátinas de diferentes sustancias (p.ej. óxidos). Esto se observa especialmente en la amalgamación de concentrados sulfurosos de minas primarias. Aquí las pérdidas de mercurio en forma de harina de mercurio pueden exceder el 10 % del mercurio utilizado en el proceso.

En la separación de oro y mercurio, generalmente se pierde el mercurio que forma parte de la amalgama (si no se utiliza algún método de recuperación, p.ej. una retorta). El porcentaje de mercurio en la amalgama, mayormente depende de la granulometría del oro y de la manera como se exprime la amalgama para separar el mercurio libre. Generalmente, el oro fino debido a la gran superficie que presenta, atrapa más mercurio por kg de amalgama que el oro grueso. Las relaciones Au/Hg medidas en diferentes minas, varían entre 0.5 Hg : 1 Au hasta 2 Hg : 1 Au.

Las pérdidas de Hg durante la limpieza de la esponja de oro (producto de la quema de amalgama), son muy variables (dependiendo de la granulometría del oro, tamaño del bollo –esponja–, tiempo y temperatura de la quema etc.) y pueden alcanzar hasta algunos porcientos del peso de oro. Generalmente los compradores requeman la bola de oro para asegurarse que la misma esté bien quemada y sin restos de mercurio en su interior y/o funden el oro que compran para eliminar impurezas (también mercurio). Los vapores de

mercurio y otros metales pesados (plomo, antimonio, etc.) que se desprenden durante la fundición, generalmente se dispersan en la misma habitación (o la tienda) o son expulsados hacia el exterior de la misma (ver foto 27). Estas tiendas a veces se concentran en una sola calle de las poblaciones mineras. Se detectaron altas concentraciones de mercurio en la orina de las personas involucradas en este gremio, como en el de los vecinos (59) (Lit Brasil).

Emisiones por derrame accidental o rotura de recipientes, ocurren durante el transporte y manejo del mercurio. Como el mercurio es una sustancia cara, los mineros generalmente tratan de recuperar al máximo el mercurio derramado. Los derrames de mercurio en las habitaciones o cocinas de los mineros, por la evaporación del mismo a temperatura ambiente, son un peligro permanente para la salud de los mineros y sus familias.

El mercurio por el uso frecuente o intenso (p.ej. mercurio varias veces exprimido) se contamina y pierde su poder de amalgamación. Los mineros desechan este “mercurio cansado”.

La reducción de la contaminación por mercurio fue el propósito que algunos gobiernos tenían en mente –como el gobierno brasileño (65)– cuando emitieron una ley que prohibía el uso del mercurio. Sin embargo, el único resultado obtenido por la puesta en vigencia de dichas leyes, fue la utilización clandestina de mercurio por los mineros de estos países, y el control de su uso se tornó en una tarea aún más difícil que antes.

Conclusiones

Los datos obtenidos sobre las **principales emisiones de mercurio** en los procesos tradicionales de recuperación de oro, muestran niveles diferenciados en función al impacto ambiental (valores típicos promedio):

1)	Emisiones en procesos de concentración en circuito abierto	(5-10 kg Hg/kg Au recuperado) ^a
2)	Emisiones por las colas de amalgamación contaminadas	(0,01-1 kg Hg/kg Au recuperado) ^b
3)	Emisiones en procesos de separación oro-mercurio ^c	(0,5-2 kg Hg/kg Au recuperado)

- a En casos extremos mayor. Cuando se usan exclusivamente planchas amalgamadoras bien controladas, sin antes utilizar mercurio en el molino, posiblemente menor (depende de la características de la carga).
- b Depende de las características de la carga y el método de amalgamación, puede variar hacia abajo y arriba. Valores altos con cargas polisulfurosas y/o donde se combina mollienda y amalgamación en un tambor amalgamador.
- c Generalmente la “quema” de la amalgama.

5.4. Estrategias y recomendaciones para evitar o reducir la contaminación por mercurio

En la primera parte de las estrategias ambientales se presentarán detalladamente varias medidas técnicas. Mediante el ejemplo de la contaminación de mercurio provocada por la explotación aurífera de pequeñas empresas, se pretende demostrar que para la puesta en práctica exitosa de proyectos medioambientales no existen soluciones ideales con éxito garantizado, sino que las soluciones técnicas tienen que adecuarse a la situación local específica. Sin embargo, también existen estrategias generales para la elección de soluciones.

5.4.1. Estrategias principales y básicas

Sólo en algunos casos, pequeñas minas bien mecanizadas, con buena capacidad técnica y financiera pueden liberarse **completamente** del uso de mercurio y trabajar con otros métodos. Esto pasó p.ej. con una operación en Zaruma-Ecuador, donde una mina pequeña con alto nivel técnico tiene un proceso similar a las minas industriales: concentración gravimétrica, seguida por lixiviación con cianuro. En la planta en mención se sustituyó la amalgamación por la fundición directa de los concentrados altamente enriquecidos.

Las experiencias de los autores en general muestran claramente, que **la amalgamación en un futuro próximo seguirá siendo el método preferido y aplicado en la pequeña minería aurífera.**

Las estrategias principales y básicas que han mostrado su validez en los diferentes proyectos ejecutados por los autores son:

- Si no se puede eliminar la amalgamación, se tiene que optimizarla y restringirla a circuitos cerrados
- Siempre se presentarán posibilidades de **evitar la amalgamación completamente** utilizando métodos alternativos conocidos o nuevos. Esto todavía **es el objetivo máximo** de un trabajo en este campo (sólo si el cambio tecnológico no llega a otros impactos ambientales graves). Pero otro objetivo de un proyecto en este campo es: **mitigar substancialmente los impactos ambientales, y realizar esto en un tiempo próximo.**
- **Un proyecto** que quiere mejorar la grave situación ambiental así como la situación alarmante de la seguridad industrial en la pequeña minería aurífera, **tiene que actuar de una manera pragmática y rápida.** No

podemos darnos el lujo de perder tiempo y dinero buscando soluciones óptimas, mientras la contaminación sigue agravándose.

- No se pueden restringir las medidas técnicas a lo elegante, nuevo e interesante desde un punto de vista tecnológico. **Todo lo que funciona es bueno. Y lo más simple y barato de lo que funciona es aún más bueno.**
- Introducir o cambiar **tecnologías**, métodos y maquinaria **no es el objetivo, sino el medio** para lograr la reducción de los impactos negativos de la pequeña minería.
- Si existe la posibilidad, tenemos que suprimir o eliminar el uso de mercurio lo más antes posible en un proceso, en vez de limpiar después los productos: **la prevención tiene prioridad antes que la curación^a**
- Sólo en casos contados se puede cambiar toda una planta de beneficio o un proceso entero: las medidas tienen que tener la posibilidad de integrarse a los procesos existentes del lugar
- La protección del medio ambiente y la protección de la salud de los operadores (seguridad industrial) van juntos. **Un minero que no cuida su propia salud no entiende por que debe cuidar la salud de los demás.**

5.4.2. Limitar el uso de la amalgamación mediante la optimización de la concentración gravimétrica

El punto de partida para el trabajo de campo con mineros pequeños es la optimización de sus procesos de concentración gravimétrica.

Esto es especialmente importante porque antes de introducir nuevas técnicas desconocidas, los pequeños mineros prefieren mejorar lo que ya tienen y conocen. Sin duda, las pérdidas más altas de mercurio ocurren en el circuito abierto y ocurren cuando el equipo de concentración gravimétrica es insuficiente. Por esto, hay que poner la máxima atención en el mejoramiento de los métodos gravimétricos, que nos permitan obtener concentra-

a Esto no significa, que “end-of-pipe-technologies” no son validos. En una mina, que utiliza amalgamación en un tambor (en circuito cerrado) se puede reducir las emisiones de Hg utilizando una retorta barrata para la quema de la amalgama de 100% hasta p.ej. 5% (el mercurio que se queda en las colas de amalgamación). Esto es una “end-of pipe-technology”, pero rapidamente implementable y con 95% de rendimiento bien eficiente. Como alternativa p.ej. se puede instalar una mesa concentradora, y producir concentrados de alta ley para fundición directa. Solo- si el dueño no quiere gastar esta plata, la infraestructura (agua, energía electrica) o la capacidad técnica de los operadores no es suficiente o existente para este proceso, tenemos una solución optima que no se aplica.

dos de alta ley, aptos para la amalgamación en circuito cerrado o también para la fundición directa. Mientras los mineros no estén absolutamente convencidos de que sus procesos gravimétricos funcionan excelentemente, la tentación de poner el mercurio al molino o en la canaleta seguirá presente.

La concentración gravimétrica ha sido y sigue siendo el método de procesamiento más importante en la pequeña minería. En la concentración gravimétrica, la diferencia en peso específico entre el mineral valioso y los minerales ganga es utilizada para alcanzar su separación. Esta separación se lleva a cabo en los diversos movimientos de las partículas de los minerales pesados (en nuestro caso, oro, sulfuros auríferos o arenas negras) y los minerales ganga, bajo la influencia de la fuerza de gravedad y otras fuerzas en un medio fluido - por lo general agua o aire. Una característica de todos los métodos de concentración gravimétrica es que las partículas tienen que ser separadas por la dinámica del flujo, para lograr la formación de capas o cejas de minerales livianos y pesados.

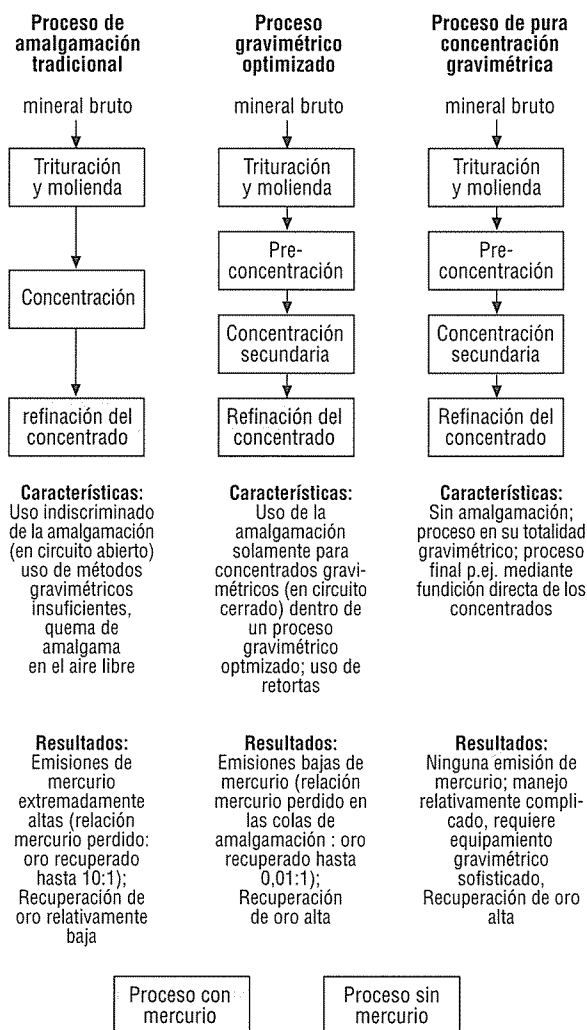
La Tabla 16 muestra una comparación esquematizada de procesos con y sin amalgamación en operaciones típicas.

Existen pocas fuentes sobre las técnicas gravimétricas de procesamiento en su primer período. Existen pocas fuentes de información sobre técnicas gravimétricas de procesamiento en su primer periodo, sin embargo, sabemos por la leyenda del “vellocino de oro” que se utilizaban las pieles de oveja para recuperar oro aluvial de manera muy similar a las alfombras utilizadas hoy en día en operaciones pequeñas de minería aluvial. Los antiguos egipcios usaron los predecesores de las canaletas y las bateas para recuperar oro de los sedimentos de los arroyos en épocas tan antiguas como el 2.000 A.C. Georgius Agrícola describe una variedad de artefactos de concentración gravimétrica utilizados en 1556 que se siguen utilizando el día de hoy, tales como diferentes tipos de mesas y canaletas (66).

La mejora de técnicas de concentración gravimétrica siempre ha sido un reto para varias generaciones de mineros e ingenieros, y un gran número de diferentes artefactos ha sido desarrollado a través de los años, y sin duda continuarán siendo desarrollados otros más. Algunos no han pasado de la etapa experimental, pero la investigación científica y las constantes pruebas a base de eliminación de errores llevaron a una mejora constante de dichas técnicas; así por ejemplo, la introducción de equipo recientemente desarrollado como los concentradores centrífugos, los cuales son sometidos a constantes mejoras y de los cuales cada año aparecen nuevos modelos en el mercado.

La concentración gravimétrica es una manera sencilla, de alta capacidad, sin reactivos peligrosos, y al mismo tiempo de bajo costo y de una eficacia razonable, para separar minerales pesados valiosos de la carga bruta, lo cual explica su extenso uso en la pequeña minería aurífera.

TABLA 16
COMPARACIÓN ESQUEMATIZADA DE PROCESOS CON Y SIN AMALGAMACIÓN
EN OPERACIONES TÍPICAS



5.4.2.1. Técnicas y máquinas gravimétricas aptas para una minería menos contaminante

A continuación, serán presentadas varias máquinas y técnicas que pueden servir para hacer minería aurífera en forma limpia. La mayoría de las técnicas son conocidas, muchas de ellas utilizadas ampliamente, pero a menudo debajo de sus posibilidades. Donde los autores tienen experiencias propias se da una descripción de las ventajas, desventajas, posibilidades y limitaciones de los equipos, como se han presentado en el trabajo de campo.

Las técnicas presentadas pueden ser utilizadas en forma individual o como parte de sistemas más complejos. Ejemplos para diferentes procesos (flujogramas) se pueden ver en el anexo 1.

5.4.2.1.1. Bateas para oro

Las bateas, junto con las canaletas, son el instrumento de mayor importancia en la pequeña minería aurífera. Tanto en la minería aurífera aluvial como en la minería primaria, las pequeñas operaciones dependen fuertemente del proceso de separación con bateas. En efecto, varias minas pequeñas y artesanales no utilizan ningún otro procedimiento para la concentración del mineral. Gracias a su alta selectividad, las bateas para oro son únicas e irremplazables en todas las fases de la pequeña minería, es decir, en el reconocimiento, la exploración y en el proceso interno de control de producción y preparación de la producción. Más aún, las bateas para oro se utilizan frecuentemente en la fase preparatoria para limpiar o enriquecer los preconcentrados. Una batea para oro es un aparato simple, generalmente circular, con un corte transversal en forma trapezoidal o triangular, a pesar de que también se utilizan cortes transversales en forma de óvalo u oblonga, y bateas en forma rectangular.

A medida que el minero mueve la batea, el oro se reúne en el fondo. Existen dos diferentes tipos de movimiento: uno rotatorio y otro longitudinal. Lo importante es que la pulpa en la batea forme un lecho fluidizado para que con el movimiento las partículas más pesadas puedan ir hacia el fondo. Si el material del fondo de la batea se encuentra compactado, el operador pierde sobre todo el oro fino y las láminas.

Existen básicamente **dos maneras en las que se opera una batea para oro:**

- la batea norteamericana (corte transversal trapezoidal) y también las bateas rectangulares se mueven de adelante para atrás para desplazar el

material más liviano fuera de la batea. Muchas veces, una sección de la batea tiene estrías que ayudan a retener el oro en la misma.

- las otras bateas (cortes transversales triangulares o cóncavos) deben ser rotadas para que su centro se mantenga casi inmóvil (pero suspendido), mientras que una combinación de corriente de agua y aceleración radial llevan las colas (o livianos) fuera de la batea.

El minero repite este proceso una y otra vez hasta que sólo el oro, o la arena negra conteniendo el oro, permanezcan en la batea.

Las bateas de oro se fabrican de diversos materiales:

- | | |
|----------|----------------------|
| • metal | • goma |
| • madera | • calabazas partidas |
| • PVC | • otros |

Las bateas de madera o fierro (oxidadas para que la superficie sea más áspera y que el color sea más oscuro) son las que mayormente son utilizados en Latinoamérica, a pesar de que las bateas hechas de PVC negro ofrecen varias ventajas: son resistentes a las rajaduras, livianas y generalmente durables, y el oro se muestra claramente en ellas. En el uso de la batea hay que tener cuidado de no perder oro fino por flotación. Este efecto, que se presenta también en otros procesos gravimétricos (canaletas, mesas, etc.) significa que el oro, debido a su superficie hidrófoba (una característica que puede ser reforzada por un recubrimiento de grasas o aceites) no se hunde, sino que flota en la superficie del agua. Mientras que en el proceso de flotación (como alternativa a la concentración gravimétrica, ver subtítulo 5.6.2) se aprovecha esta característica, en el caso de la concentración gravimétrica produce pérdidas. Por eso hay que evitar la contaminación de la carga con aceites o lubricantes. Unas gotas de detergente o jugos de ciertas plantas, como la savia del sisal (fique o pita), pueden ayudar a prevenir la flotación.

El rendimiento de las operaciones de separación de oro sólo con bateas es generalmente bastante bajo. Si la carga se separa fácilmente, un minero puede manejar cerca de 100 bateas llenas pesando aprox. 10 kg cada una en un día de trabajo, dando así un rendimiento aproximado de 1 t/d. Las partículas gruesas de grava en la carga son retiradas antes con una malla o a mano mientras se mueve el material en la batea. Cuanto más fino el oro, más altas las pérdidas debido a la descarga inadvertida de partículas finas de oro.

Las bateas para oro son de fácil manufactura. Un poco de trabajo simple de laminación es suficiente para convertir la tapa de un tambor de diesel o cianuro vacío en una batea para oro. En talleres pequeños también se producen bateas de madera, de PVC o PE.

El grado de **recuperación con batea** depende en gran parte de la habilidad del operador. Con una operación cuidadosa la recuperación puede ser muy buena, hasta partículas de cerca de 20 μm . Por esta razón **las bateas también son artefactos importantes para el control durante el proceso de concentración gravimétrica, tanto en minas aluviales como en minas primarias.**

5.4.2.1.2. Canaletas (canalones, lavaderos, cajas, tame, etc.)

Las canaletas son muy usadas en la minería aurífera, principalmente en las operaciones pequeñas de minería aurífera aluvial y en la concentración de mineral primario molido. No hay duda de que **en la pequeña minería aurífera las canaletas son el equipo más importante para la concentración gravimétrica**. Existen miles de minas en todo el mundo que exclusivamente trabajan con canaletas (y bateas). Calculando la capacidad instalada, la canaleta es uno de los artefactos más utilizados para el procesamiento de minerales pesados. Generalmente consisten de un canal, a través del cual fluye la pulpa, y de varios materiales (trampas) para la captura de minerales pesados, los cuales se hunden hasta el fondo, mientras el agua saca hacia afuera a los sólidos livianos.

Existen muchas formas y tipos de canaletas, tanto para trabajar oro primario (de vetas) como oro aluvial (de veneros).

Ventajas	
✓	bajo costo
✓	gran capacidad
✓	no necesita motor
✓	buena recuperación (en caso de un buen diseño y manejo)
✓	fácil operación
✓	alto grado de concentración
✓	recuperan también oro sucio o parcialmente entrecrecido

Desventajas

- ✗ necesita mucha mano de obra (para lavarlo frecuentemente)^a
- ✗ baja recuperación de sulfuros acompañantes^b
- ✗ descarga del producto aurífero en forma discontinua

DISEÑO	OPERACIÓN	CARGA
• ancho • largo • tipo de piso (trampas)	• cantidad de carga/hora • caudal de agua • inclinación • frecuencia de lavado	• granulometría (tamaño de grano alimentado) • cantidad de minerales pesados acompañantes • contenido de lodos

El funcionamiento de la canaleta está determinado por los siguientes factores:

Existen dos formas básicas de pisos, que influyen en el mecanismo de separación.

I) piso con rejillas (trampas gruesas, a veces encima de alfombras)

En esta forma, la pulpa tiene mucha turbulencia (que es necesario para el efecto “remolino”). Las rejillas se prestan para recuperar eficientemente el oro grueso, pero generalmente pierden la mayor parte del oro fino (67). Además, se recupera mucho preconcentrado, que dificulta y aumenta el trabajo para obtener el producto final.

II) piso con alfombras (bayetas, frazadas, alfombras, etc.)

En esta forma, la pulpa fluye con poca turbulencia. La ventaja es una buena recuperación de oro fino y la obtención de una cantidad reducida de

-
- a La necesidad de mucha mano de obra puede ser positiva en la pequeña minería de países subdesarrollados.
- b Las canaletas recuperan principalmente oro y solo una parte de los minerales acompañantes estériles. Esto es útil en el caso de la minería aluvial. En la minería primaria, a veces los sulfuros son un valioso subproducto. Estos (especialmente los finos) normalmente no se recuperan bien con canaletas. Para este propósito se tiene que utilizar otros equipos gravimétricos (p.ej. jigs, mesas, espirales, etc.).

preconcentrado. Según el tipo de carga, se requiere un lavado frecuente. Este tipo de canaleta también se denomina “mesa estacionaria” (en inglés “blanket table” o “strake”). Estas canaletas no sólo se utilizan en la minería primaria, sino funcionan también en la minería aluvial con oro fino (ver fotos 28, 29, 30, 31).

Una forma “intermedia” es el uso de metal expandido (metal desplegado) encima de alfombras, que ha dado buenos resultados en la minería aluvial (68).

En el caso de tener una carga con oro grueso y fino, se recomienda tamizar la carga y tratar cada tamaño en canaletas separadas.

Diseño y operación de la canaleta

Por la variedad de cargas tratadas, no se puede dar recomendaciones específicas sobre la aplicación de canaletas. Generalmente, hay que seguir las reglas siguientes:

a) en la minería aluvial hay que eliminar piedras estériles gruesas antes de la alimentación a la canaleta. **El grano más grande de la alimentación no debe superar el tamaño de la pepa más grande probable.**

b) **la carga debe ser tratada, según el tamaño del oro, con diferentes tipos de trampas.** Varios tipos de corrugaciones y cubiertas se utilizan para obtener una superficie de fondo “áspera” de tal manera que el oro se pueda quedar atrapado en el fondo. Los materiales más comunes para corrugaciones (rejillas o “riffles”) o cubiertas, incluyen (33):

- piedras
- rejillas de madera o metal
- estera de goma (pisos utilizados en automóviles)
- estereras de sisal o coco
- tela fina y áspera, como corduroy, terciopelo, bayetas
- bambú partido
- rejillas de metal expandido (expanded metal)
- alfombras de diferente tipo
- musgo
- varias combinaciones de los materiales arriba nombrados, etc.

La selección del piso o cubierta depende no sólo de las necesidades metalúrgicas, sino también de la disponibilidad de los diferentes materiales en cada región. En los trabajos efectuados en Bolivia, Brasil y Ecuador se

han empleado varios tipos de piso según las características del oro, que han dado muy buenos resultados en recuperación, grado de concentración y manejo (69, 70, 71). Así, se han utilizado para recuperar:

- **oro grueso** (grano de arroz y más grandes): rejillas de metal “1 x 1” o metal expandido, encima de alfombra tipo “Nomad” (fabricación 3M)
- **oro mediano** (grano de arroz hasta grano de azúcar, u oro laminado): alfombra tipo “Nomad” o tipo “Multiouro tariscado”, fabricación Sommer, Sao Paulo- Brasil; sin rejillas, o metal expandido encima de alfombra “Nomad”
- **oro fino** (grano de harina): alfombra tipo “Multiouro liso”, fabricación Sommer, Sao Paulo-Brasil; bayetas de lana; paños sintéticos.

c) **la inclinación de la canaleta** debe ser de tal manera que la carga no se sedimente (emplee) sobre el piso, generalmente entre 10 y 20% (10 a 20 cm de caída por metro de canaleta). En algunos casos, para mineral primario con oro fino, que requieren una molienda menor a 0,1 mm, la inclinación óptima puede alcanzar valores muy bajos de hasta 4%. Esto se debe determinar experimentalmente.

d) **la frecuencia del lavado** de las cubiertas depende del tonelaje tratado y del contenido de minerales pesados acompañantes. Generalmente en la minería aluvial hay que retirar los concentrados una vez por día, en la minería primaria hay que lavar las alfombras cada hora (depende principalmente del contenido de minerales pesados acompañantes, como sulfuros etc.). Dejar pasar mucho tiempo entre lavados resulta en la saturación del piso con material pesado y pérdidas significativas del material valioso. La frecuencia óptima se debe determinar experimentalmente, p.e. controlando colas con la batea.

e) **la densidad de la pulpa** (relación carga : agua) debe ser de alrededor de 1:4 en peso para material aluvial con oro grueso o mediano, hasta 1:10 para mineral primario con oro fino.

La mayoría de los operadores que utilizan canaletas con rejillas gruesas rastrillan los espacios entre las rejillas para asegurarse de que el material entre las mismas no se compacte. En este procedimiento se pierde en particular el oro fino en las colas. Para prevenir este problema en Nueva Zelandia son comunes las “rejillas hidráulicas”.

Aquí la inyección del agua es utilizada para prevenir el compactamiento de la carga en la canaleta y para ayudar al escape de los minerales

livianos. Se estima que con las rejillas hidráulicas la recuperación es 5-10% más alta que la recuperación con rejillas convencionales ^a (72).

Existe el prejuicio de que las canaletas no pueden recuperar suficientemente el oro fino. Esto no se ha podido comprobar en los trabajos efectuados en Ecuador, Brasil y Bolivia. Más bien, se ha podido mostrar y comprobar su eficiencia y fiabilidad para recuperar oro fino hasta 30 μ m ^b (73).

Canaletas en canales excavados

Las canaletas en canales excavados son usadas casi exclusivamente en la minería aluvial. Consisten de una trinchera, con o sin paredes de albañilería y con condiciones de suelo y ángulos de inclinación variables. A medida que una carga no clasificada corre a través de este canal en forma de pulpa espesa, algo del material se deposita y es tratado como un preconcentrado. El uso de canaletas hechas en canales excavados involucra altas pérdidas de oro, sobre todo de partículas finas.

Otras canaletas

Existen otras formas diferentes de canaletas, como:

- canaletas en forma de abanico
- canaletas con fondo vibratorio
- plane tables, etc.

que se utilizan en la pequeña minería aurífera en algunas minas. Su descripción se encuentra en la literatura correspondiente (74, 75). Especialmente los “plane tables” pueden ser interesantes para la pequeña minería aurífera primaria. Ensayos con este equipo son actualmente ejecutados por los autores.

a La amalgamación en las canaletas, utilizando mercurio en los espacios entre las rejillas, es una práctica frecuente. Generalmente, esto funciona para el oro grueso. El oro fino no tiene la suficiente masa como para penetrar la superficie del mercurio y el tiempo de contacto es demasiado corto como para amalgamarse en la superficie, especialmente con oro que tiene una superficie cubierta con óxidos o cuando el mercurio ya está contaminado (gastado). Por esto, la recuperación de oro fino en este proceso es muy reducida, en tanto que el impacto al medio ambiente es alto. Un alto porcentaje de mercurio se pierde junto con las colas, y es por esto que este proceso debe ser evitado a toda costa (ver subtítulo 5.3.2.1).

b Esto no es una novedad, como podemos ver en el TAGGART de 1953 (73).

5.4.2.1.3. Jigs

El jig es un equipo de preconcentración o concentración gravimétrica muy utilizado en la minería de minerales pesados (estaño, wolframio, etc.) y también en la minería aurífera. El jig permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. En la minería aurífera los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial), en tanto que los livianos son cuarzo y diferentes tipos de roca.

La versión más rústica en Bolivia es el “maritate”, constituido por un cedazo móvil accionado manualmente en un baño de agua.

Jig hidráulico

Aquí la pulsación es producida hidráulicamente (por presión de agua que mueve una válvula de diafragma). Originalmente, este principio fue aplicado en el “Panamerican Pulsator Jig”, y después simplificado en jigs hidráulicos rústicos tipo “Baltar”.

Ventajas

- ✓ de construcción simple
- ✓ no requiere motor
- ✓ bajo costo de inversión y mantenimiento

Desventajas

- ✗ difícil de controlar
- ✗ alto requerimiento de agua
- ✗ requiere ajuste permanente

Jig mecánico

Existen muchos tipos de jigs mecánicos, que se han desarrollado para varios minerales y usos. Generalmente, en la minería aurífera se encuentran los siguientes:

Oro aluvial: Yuba y Panamerican

Oro primario: Denver (ver Foto 34).

La pulsación requerida es producida mecánicamente por una biela y diafragma accionados por un motor.

Ventajas
✓ versátil, se puede adecuar a todo tipo de materiales
✓ ajustadas sus variables, no requiere de mayor atención

Desventajas
✗ requiere motor

Operación del jig

Las variables de operación son similares en todos los tipos de jigs:

- abertura del cedazo
- material para la cama
- agua de inyección,
- golpe (amplitud)
- velocidad o frecuencia de golpe
- alimentación (t/h)
- granulometría de la alimentación.

Posibilidades de aplicación del jig

Las posibilidades de uso del jig en la minería son amplias. Particularmente en la minería aurífera puede ser utilizado tanto en la filoniana (de vetas o primaria) como en la aluvial. La experiencia ha demostrado que **resulta muy eficiente en la recuperación de oro laminar y esponjoso**, donde difícilmente es igualado por otros equipos gravimétricos.

En la minería primaria puede instalarse inmediatamente **después del molino primario**, para recuperar el oro grueso, el oro laminar, el oro esponjoso y los sulfuros gruesos liberados, para impedir su retorno innecesario al molino en un circuito cerrado, evitando una mayor laminación del oro y la sobremolienda de los sulfuros que son contaminantes potenciales. También puede utilizarse para el **enriquecimiento complementario de productos** procedentes de otras etapas.

En la minería aluvial puede también utilizarse como **concentrador primario** en vez o antes de las canaletas o utilizarse para el enriquecimiento complementario de preconcentrados.

Sobre la operación de los jigs se encuentran todos los detalles necesarios en la literatura correspondiente (75). **Al contrario de las canaletas, los jigs necesitan operadores bien entrenados para obtener resultados buenos.**

Los jigs se pueden producir localmente en talleres metal-mecánicos.

5.4.2.1.4. Mesas concentradoras

Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada. Aquí se habla principalmente de los tipos con movimiento longitudinal vibratorio, donde las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico (y la granulometría). Otros tipos de mesas (mesas de banda, mesas basculantes, mesas de paño sin fin, mesas redondas, etc.) son raramente usadas en la pequeña minería y por esto no se describen aquí en detalle (74).

La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en la minería del estaño, wolframio y oro.

Existen de diferentes tipos y marcas. En la minería aurífera se usan especialmente los tipos Wilfley y Deister (ver foto 32). Las diferencias entre unas y otras son mínimas, principalmente en el mecanismo del cabezal, la geometría del tablero y el tipo de enriflado. Para el último paso de limpieza de concentrados, p. ej. antes de la fundición directa, se encuentra en algunas minas también mesas tipo “Gemini”.

De acuerdo a su modelo y tamaño, **las mesas se utilizan para concentrar minerales finos y ultrafinos** con una capacidad hasta un máximo de 1,5 t/h por unidad.

Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el proceso de concentración se lleva a cabo a la vista sobre el tablero de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambios en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente. Se pueden tomar muestras directamente durante la opera-

ción, utilizando bateas para oro, por ejemplo. Por lo tanto, la optimización de esta operación se lleva a cabo de una manera simple y puede ser realizada por operadores aprendices.

Debido a la distribución del material en forma de un abanico sobre la tabla de la mesa, uno puede obtener bandas específicas de mineral de una manera selectiva (algo que no ocurre en las espirales, donde las bandas se superponen parcialmente unas sobre otras). De esta manera, uno puede separar, al realizar la regulación correspondiente, un concentrado de oro libre de alta riqueza así como un concentrado de sulfuros, por ejemplo, que contiene oro diseminado, para su posterior tratamiento. Esto implica, por otro lado, que es muy fácil robar el concentrado de alta ley cuando se utilizan las mesas para la fase de limpieza de los minerales.

La efectividad de todas las mesas depende de la homogeneidad del material de alimentación y de la densidad de pulpa –particularmente de la densidad– ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente.

Ventajas:

- ✓ descarga continua de productos
- ✓ permite obtener toda una gama de productos (concentrados, mixtos, colas)
- ✓ comportamiento visible del material sobre el tablero
- ✓ costo relativamente bajo (de producción local)
- ✓ gran flexibilidad
- ✓ manejo y supervisión relativamente simple
- ✓ posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañantes
- ✓ alta seguridad en las condiciones de trabajo
- ✓ buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento,
- ✓ posibilidad de su producción en países en desarrollo.

Desventajas:

- ✗ precio relativamente alto (en relación a su capacidad)
- ✗ requiere alimentación constante (si no, la posición de las cejas varían demasiado sobre el tablero)
- ✗ requiere supervisión continua
- ✗ requiere motor

Variables de operación

Entre las más importantes se mencionan:

- granulometría de la alimentación
- longitud de golpe (amplitud)
- frecuencia de golpe
- inclinación de la mesa
- cantidad de agua de lavado
- posición de los cortadores de productos.

Explicaciones detalladas sobre la operación de mesas concentradoras se encuentran en la literatura pertinente (75).

Posibilidades de aplicación

Principalmente se puede usar en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas; su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso adicional.

Las mesas sirven también para enriquecer preconcentrados gravimétricos obtenidos por otros equipos (canaletas, espirales, etc.) y para producir concentrados de alta ley (que en algunos casos se pueden fundir directamente).

Las mesas se pueden fabricar localmente en talleres metal-mecánicos (mecanismo) y de carpintería (tableros).

5.4.2.1.5. Concentradores de espiral

El concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal con cuatro a siete vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro. Se puede considerar al concentrador de espiral como una serie de bateas superpuestas y conectadas.

Las partículas más pesadas se reúnen en el fondo, donde la fricción y el lastre actúan para aminorar la velocidad del material. Debido a la forma de espiral del lecho de la canaleta, las fuerzas centrífugas en la pulpa llevan

al material más liviano hacia afuera, hacia el borde de la espiral, mientras que el material pesado permanece adentro.

Los modelos modernos de un diseño relativamente simple de espirales (tal como un Reichert LG 7, ver Foto 33)) han rebasado gradualmente los tipos antiguos de espirales más complicados (espirales tipo Humphrey o Reichert WW6) con alimentación de agua de lavado y cortadores de concentrado en diferentes puntos a lo largo de la espiral.

Al final de las espirales modernas, los cortadores dividen el producto en cuatro diferentes fracciones: concentrados, mixtos, colas y agua. Existen tipos específicos de espirales, utilizados para la limpieza realizada en una etapa posterior sobre los concentrados enriquecidos o sobre las cargas con alto contenido de minerales pesados (las espirales de mediano grado y de alto grado tienen más salidas para los concentrados, pero muy raramente son utilizadas en el procesamiento de oro).

La forma helicoidal hace posible la combinación de varias espirales en una sola columna (duplex, triplex). La mayoría de las concentradoras espiral están hechas de plástico o de resina sintética, de fibra de vidrio reforzada, con cubierta de poliuretano.

Las espirales pueden ser utilizadas para una variación **de tamaño de grano desde 2 mm hasta aprox. 30 μm** . Por lo general, las espirales se caracterizan por su alta recuperación, pero también por su bajo factor de enriquecimiento, y es debido a este motivo que las espirales son utilizadas exitosamente en la fase de preconcentración o como “scavenger” (para la recuperación de minerales residuales de valor de las colas). Las espirales no son apropiadas para el enriquecimiento de los concentrados obtenidos a través del lavado en canaletas. Sin embargo, no hay duda que las espirales pueden ser utilizadas efectivamente incluso como un reemplazo de las canaletas, combinadas con otro equipo para la concentración secundaria de preconcentrados (mesas concentradoras, por ejemplo).

Descripciones detalladas sobre el manejo de espirales se encuentra en la literatura (75).

Las espirales permiten tener una **producción continua de preconcentrados**, así como también extraer un producto intermedio (como sulfuros) y son extraordinariamente **útiles para la extracción de lodo del material**, debido que la mayor parte del agua, junto con las partículas ultrafinas, se extrae separadamente.

Las espirales no requieren de impulsión motriz, **requieren poco mantenimiento**, también son resistentes al desgaste mecánico y cada

unidad puede tratar hasta 2 t/h, requieren poco espacio y son fáciles de operar.

En comparación con las mesas vibradoras y con los concentradores centrífugos, las espirales son significativamente más económicas.

Ventajas

- ✓ manejo simple
- ✓ buena recuperación
- ✓ no requiere motor
- ✓ alta capacidad (hasta 50 t/d para una espiral simple)
- ✓ precio moderado.

Desventajas

- ✗ Necesitan **grandes diferencias de altura entre la alimentación y la descarga**; para obtener esta diferencia se puede aprovechar el gradiente natural de alguna ladera. Las plantas localizadas en terrenos más o menos planos necesitan bombas para alimentar la pulpa a las espirales, lo cual implica una inversión adicional; las bombas son sometidas a un desgaste pronunciado debido a la naturaleza abrasiva del material.
- ✗ Las espirales necesitan ser operadas con una **densidad de pulpa entre 30-40%**, para alcanzar resultados óptimos de concentración. Mientras la pulpa proveniente de un molino de bolas a menudo tiene que ser diluida para obtener esta densidad, la pulpa proveniente de un proceso de concentración gravimétrica con canaletas a veces está demasiado diluida para ser alimentada a las espirales. Antes de alimentar a la espiral, esta pulpa debe ser espesada (puede ser mediante un clasificador de caja en punta, o por medio de un hidrociclón y una bomba).
- ✗ Las espirales pueden ser **operadas por un mínimo de empleados**. Aún con un solo hombre de turno, que esporádicamente controle las operaciones, se puede lograr un ahorro significativo en fuerza de trabajo, al contrario que con las canaletas o mesas. Esto implica una ventaja para el sector formal minero, pero es considerado más como una desventaja en la pequeña minería debido a la pérdida de puestos de trabajo.
- ✗ Los **requerimientos técnicos** para su producción (taller experimentado en manejo de plásticos) **dificultan la construcción local** de concentradores a espiral. Asumiendo que existiese una demanda adecuada, podrían ser producidos a escala industrial por compañías especializadas en el procesamiento de plásticos.

Al final de la espiral están las salidas de los productos (concentrado, mixtos, colas y agua). El agua generalmente contiene los lodos. Mediante los cortadores se puede definir el ancho de la caja del concentrado y de los mixtos.

Según la posición de los cortadores, se pueden obtener los siguientes productos:

TABLA 17
ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DE DIFERENTES PRODUCTOS
EN UNA CONCENTRADORA ESPIRAL

PRODUCTO	CONCENTRADO	MIXTOS	CÓLAS
Alternativa a)	piritas y oro (alta ley en oro)	pirita-oro-cuarzo	cuarzo con algo de pirita entremezclada
Alternativa b)	piritas y oro (baja ley en oro)	piritas entremezcladas para remolienda)	cuarzo

Las concentradoras a espiral antiguas que tienen cortadores-colectores de concentrado en cada vuelta, no producen mixtos.

Más información sobre la operación de espirales se consigue en la literatura pertinente (75).

Utilización de la espiral en la minería aurífera

La espiral se utiliza principalmente para la **preconcentración de materiales auríferos**, tanto primarios como secundarios. Otro uso es, para recuperar el oro y las piritas auríferas todavía existentes **en las colas de los ingenios primarios** ("scavenger"). Así se pueden recuperar al máximo los valores remanentes, evitando además la contaminación del medio ambiente con piritas. Por lo demás, se obtiene colas deslamadas (sin partículas finas), que pueden retenerse en pozos de sedimentación, las aguas lodosas se pueden tratar en estanques de decantación (con o sin el uso de floculantes, según el caso) para evitar la contaminación de los ríos. En caso de escasez de agua, se puede recircular la misma. El uso de espirales en la pequeña minería aluvial es restringido por la dificultad de clasificar un gran volumen de carga a $< 2\text{mm}$.

5.4.2.1.6. Concentradores centrífugos

Los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravi-

métrica de oro en minas grandes; frecuentemente en los circuitos de molienda para separar oro libre y evitar sobremolienda y antes de plantas de cianuración o flotación para recuperar el oro grueso^a (76). También existen muchas aplicaciones en plantas industriales en la minería aurífera aluvial. Otra aplicación especial para los concentradores centrífugos es la recuperación del oro como un producto secundario, por ejemplo en canteras de grava. Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio: básicamente, un recipiente que rota efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrífugo.

Los tipos de concentradores centrífugos más utilizados están basados en el mismo principio pero difieren en su diseño técnico. Se encuentran los concentradores Knelson, Knudsen y Falcon y algunos de fabricación local (especialmente en Brasil).

Existen dos tipos principales de centrífugas:

- centrífugas sin inyección de agua en contracorriente (Knudsen, algunos modelos de Falcon)
- centrífugas con inyección de agua en contracorriente (Knelson, algunos modelos de Falcon).

Como promedio, el tamaño de las partículas aptas para este proceso varía entre 30 μm y 1-4 mm, dependiendo del tipo y modelo de centrifugadora utilizada.

La recuperación de oro libre puede ser buena bajo las siguientes condiciones:

- cuando la alimentación está clasificada en rangos de tamaño bien delimitados
- presencia de pocos minerales pesados acompañantes gruesos.

Las centrífugas ofrecen buena seguridad contra robos y ahorran fuerza de trabajo significativamente (lo cual puede ser una desventaja en la pequeña minería). Con las centrífugas se pueden lograr altos radios de enriquecimiento. Para la posibilidad de fundición directa, pero a menudo se necesita otro equipo más (p.ej. una mesa concentradora). En los circuitos de molienda, los concentradores centrífugos son utilizados efectivamente para recuperar el oro liberado.

a En la pequeña minería aurífera, debido a su capacidad limitada, en circuitos de molinos se prestan con buenos resultados los jigs.

Una desventaja de las centrífugas actuales es que este equipo por lo general no trabaja verdaderamente de manera continua, es decir, la operación debe ser periódicamente interrumpida para descargar el concentrado retenido en el lecho del cono del concentrador. Esto implica una paralización en las actividades de aproximadamente 5 minutos y es posible solamente cuando la planta dispone de otra máquina de apoyo. De otra manera, esto causaría pérdidas significativas, debido a que el material tendría que ser desviado durante la descarga del concentrado o se tendría que utilizar otra centrifugadora como “stand-by”.

Los intervalos de tiempo para la descarga deben ser determinados experimentalmente. Incrementar el tiempo de operación implica una elevación del factor de enriquecimiento en el concentrado, pero disminuye la recuperación total, porque las partículas de oro fino también se pierden progresivamente durante el lavado.

Recientemente han sido desarrollados los concentradores centrífugos de efusión semi-continua o continua (los nuevos equipos de Falcon y Knelson) pero, hasta el momento, no se encuentran disponibles muchos datos sobre su rendimiento en la práctica.

Ventajas	
✓	buena recuperación (en ciertas condiciones, ver arriba)
✓	alta capacidad
✓	equipo muy compacto
✓	alto factor de enriquecimiento
✓	alta seguridad contra robo

Una desventaja de las centrífugas con agua a inyección es su alta demanda de agua limpia (el agua de inyección en contracorriente). En las instalaciones de diferentes plantas de beneficio de pequeña minería se demostró que muchas veces resulta muy difícil proveer agua en la cantidad y con la presión necesaria. Especialmente para alcanzar la presión de agua requerida, muchas veces se tiene que utilizar una bomba, lo cual implica una inversión adicional. Es posible reciclar agua, pero esto requiere de instalaciones adicionales para su purificación.

Otros **problemas con las centrífugas** son los siguientes:

- **Posibilidad mínima de recuperar minerales pesados acompañantes.**

Si el concentrador centrífugo es utilizado para la preconcentración (como

equipo único), todos o casi todos los minerales acompañantes valiosos se perderían. Este es el caso de las minas primarias, donde se encuentran presentes sulfuros valiosos. Aquí disminuye la recuperación total de oro utilizando centrífugas en la preconcentración, ya que cierta cantidad de oro se presenta diseminada en los sulfuros.

- **Operación sin posibilidades de supervisión.** La mayoría de las centrífugas en operación están completamente cerradas, y los disturbios en su interior son difíciles de detectar (en contraste con la mesa concentradora y las espirales). Un ajuste incorrecto del concentrador centrífugo (presión de agua inyectada irregular o modificada debido a una falla en el bombeo) puede llevar a una recuperación nula (igual a cero), sin que el operador lo note. En la mayoría de los casos, sólo en el momento en que el recipiente de concentrado es vaciado se puede observar qué tan exitosa ha sido la operación con la centrífuga.
- **Propensión a alteraciones en la operación.** A causa de alteraciones en la operación, como un corte de luz, el concentrado reunido durante horas de operación podría perderse en segundos. Esto no ocurre en artefactos donde el concentrado se obtiene continuamente (mesas, espirales), ya que el concentrado producido es seguro, es decir, se lo encuentra en un recipiente externo de recolección. Este riesgo podría ser reducido, condicionalmente, con la operación de sistemas de emergencia (generador, válvulas automáticas que cortan el agua y la alimentación, etc.). En cuanto a otros factores, a través de una interrupción en la inyección de agua debido a fuertes fluctuaciones de la misma, pueden llevarse a cabo grandes pérdidas en la recuperación del mineral por la anulación del efecto de separación.
- En la minería aluvial, la alimentación a la centrífuga tiene que ser bien fina (p.ej. $< 1\text{mm}$) para recuperar bien el oro fino. Una alimentación p.ej. con material $< 6\text{mm}$ (como está descrito en el manual del concentrador Knelson) con **la presencia de minerales pesados gruesos requiere una alta presión del agua de inyección en contracorriente**, para que no se compacten los minerales pesados acompañantes en el cono. **Esto causa altas pérdidas de oro fino.** La alta exigencia de clasificación requerida es difícil de realizar en la pequeña minería aluvial. Problemas similares se presentan en la minería primaria con la presencia de muchos sulfuros o sulfuros pesados (p.ej. galena).
- Los concentradores centrífugos, **debido a razones tecnológicas y a derechos de patentes, no pueden ser fabricados en los países en desa-**

rrollo en versiones de buena calidad. Esto genera, entre otras cosas, su alto precio y **causa dificultades en su reparación y adquisición de repuestos.**

Estos puntos de vista deberían ser tomados en cuenta antes de comprar e introducir el concentrador centrífugo. En Sudamérica, debido a las desventajas arriba señaladas, las centrífugas han encontrado poca aplicación en la pequeña minería aurífera de la región como equipo para la concentración gravimétrica. Lamentablemente, se encuentra frecuentemente concentradores centrífugos de fabricación local usados como amalgamador en flujo abierto (ver subtítulo 5.3.2.1) (77).

5.4.2.1.7. Otros equipos de (pre-) concentración gravimétrica

En seguida se presentan otros equipos de concentración gravimétrica, que en algunas regiones o con ciertos materiales auríferos han dado buenos resultados.

Canaletas oscilantes (Rockers)

Las canaletas oscilantes o “rockers” sirven para la concentración de oro aluvial, sobre todo en regiones relativamente secas, por su **bajo consumo de agua**. Básicamente, una canaleta oscilante consiste de un clasificador y una canaleta. El clasificador es un cajón tipo tolva que recibe la carga de mineral. Por debajo del cajón emerge una canaleta inclinada de madera con rejillas, cuya gradiente varía de acuerdo al tamaño del material alimentado.

El material arcilloso alimentado requiere menos gradiente que la que podría necesitarse para un material más grueso. El total de la unidad se monta en patines semicirculares (los “osciladores”), para que toda la sección superior pueda ser mecida de un lado a otro con la ayuda de una palanca. Debido a que el material de carga y el agua de lavado deben ser agregados manualmente, se requieren varias personas para aprovechar la capacidad de una criba oscilante: una para extraer el mineral bruto, otra para transportarlo a la criba oscilante y descargarlo a una tolva, una para sacudir la

a En Colombia, los “rockers” se los utiliza también por individuos.

criba oscilante, y otra para añadir el agua (pero también se puede utilizar una manguera) (29). La criba oscilante típica puede manejar entre 3 y 5m³ de carga en un turno de 10 horas. Los preconcentrados de las cribas oscilantes requieren seguidamente un proceso de separación con bateas. De 3 a 5m³ de agua son consumidos durante el turno de trabajo promedio. Las principales ventajas de las cribas de lavado son su poco consumo de agua, construcción liviana, que no necesita, un motor, y su fácil manufactura local - haciendo que su uso sea apropiado como mecanismo de concentración portátil (78).

Sin embargo, se puede usar también canaletas “normales” con poca agua y buenos resultados.

Trampas hidráulicas

Las trampas hidráulicas se utilizan en la minería aluvial para separar previamente las partículas de oro grueso (pepas, granos, etc.) antes de la clasificación para no descartarlas junto con el material grueso. Otro uso es en la minería primaria directamente después de la salida del molino. Existen varios diseños que trabajan con un flujo de agua ascendente que mantiene partículas livianas en suspensión, mientras el oro se hunde y puede ser retirado ya sea continuamente o a intervalos.

En otro tipo de trampas hidráulicas, la pulpa se introduce a través de una cañería de entrada y es forzada a cambiar de dirección un cierto número de veces antes de escapar (trampas en laberinto). El oro se deposita en el fondo. Este tipo de trampas se encuentran a veces en la descarga de planchas amalgamadoras. Cuando la carga tiene una variación grande de tamaños de grano, estas trampas en laberinto se llenan rápido, recuperan muy poco oro fino y muy poco de “mercurio atomizado”, el cual es generalmente vaciado en las colas (ver subtítulo 5.5.2).

Separadores en seco

Por analogía a la separación mecánica en agua, donde ésta se utiliza como un medio separador, se han desarrollado artefactos similares para la concentración de minerales, que utilizan aire en vez de agua como medio separador, para su uso en regiones áridas. Se realizan las siguientes diferenciaciones entre los siguientes tipos básicos de equipo separador de oro en seco:

- **Canaletas de aire.** En este procedimiento el alimento pasa por una canaleta con rejillas, que tiene como fondo una malla fina. Un fuelle ubicado debajo del cajón sopla aire a través del fondo del cajón. El aire entrante mantiene las partículas en un lecho fluidizado. Debido a la inclinación de la canaleta, el material en suspensión fluye hacia la salida de la misma, pasando por las corrugaciones que retienen el material pesado, mientras que las colas livianas pasan por encima de las corrugaciones y salen de la canaleta.
- **Lavadores en seco.** Los lavadores en seco son similares a las canaletas de aire, pero sin su permanente fluidez, y son también utilizados para la separación en seco. En vez de generar un lecho fluidizado, el material es sacudido para efectuar la separación gravimétrica. Las lavadoras en seco logran una selectividad y recuperación menor a las de las canaletas de aire.
- **Mesas neumáticas.** En muchas regiones áridas, las mesas de aire o mesas neumáticas son utilizadas para el procesamiento de arena con contenido aurífero. Una mesa neumática consiste de una plataforma cubierta de un material poroso sobre una cámara desde la cual se sopla el aire a través de la plataforma inclinable. El lecho fluidizado se divide en zonas de material pesado y material liviano respectivamente, debido al ángulo de inclinación de la plataforma y ayudado por sacudidas laterales.
- **Aventamiento.** También conocido como secado por aire, el aventamiento es un método popular para la separación en seco. El alimento cae a través de un chorro de aire que separa las partículas pesadas de las partículas livianas, debido a que estas últimas tienen una relación más alta de volumen a peso. En su caso más simple, el flujo de aire es el viento. En las máquinas de aventamiento se pueden utilizar partidores para separar los flujos de los componentes. El aventamiento debería reservarse solamente para alimento fino, totalmente seco y muy cuidadosamente clasificado.
- **Canaletas acuñadas,** con lechos fluidizados neumáticamente. El aire soplado a través de una plataforma de tela genera un lecho fluidizado para el material de alimentación, y la separación se efectúa de manera muy similar a la de una canaleta acuñada hidrodinámica. Las canaletas acuñadas en seco se utilizan principalmente para obtener preconcentrados.

Todos los equipos de concentración gravimétrica en seco se caracterizan por la emisión excesiva de polvo (la carga tiene que estar muy seca).

En procesos manuales (lavadores en seco, aventamiento manual) esta es menor, mientras que resulta muy notoria en los procesos que utilizan ventiladores (mesas neumáticas, canaletas de aire mecanizadas). La emisión extrema de polvo de este sistema constituye no sólo un grave problema para el medio ambiente, sino también para la salud ocupacional. Se la puede minimizar mediante un flujo de aire en un circuito cerrado, con el uso de un extractor de polvo dentro de una cámara desempolvadora, o con un lavador de aire en húmedo ("scrubber"). Esto también aumentaría substancialmente el costo de la operación. La recuperación, especialmente del oro fino, es generalmente mucho más baja en comparación a equipos que trabajan con agua (74).

5.5. Optimización del proceso de amalgamación

Como se ha visto anteriormente, para la pequeña minería aurífera la amalgamación todavía es en la mayoría de los casos un proceso indispensable para recuperar el oro de concentrados gravimétricos. En lo que sigue, no se hablará mas de amalgamación en circuito abierto (ver subtítulo 5.3.2). Esto no vale optimizar, porque simplemente se debe eliminar. Si se habla aquí de un mejoramiento del proceso de amalgamación, se habla de la amalgamación de concentrados en circuito cerrado. Existen alternativas simples (fundición directa) o de tecnología más complicada (como cianuración, flotación). Mientras la fundición directa funciona solo en el caso de concentrados muy ricos, el uso de la flotación o cianuración significa mayor inversión y requiere mucho conocimiento técnico para que resulten efectivas; también es indispensable controlar sus efectos negativos sobre el medio ambiente, que pueden ser graves.

Ya que es tan difícil evitar por completo la amalgamación, es absolutamente necesario optimizar la forma y el uso que se le está dando. Se justifica solamente cuando el proceso aprovecha todas las opciones técnicas para recuperar el mercurio y la amalgama a medida que minimiza las pérdidas de mercurio.

La amalgamación en un circuito abierto debe ser evitada a toda costa. La amalgamación in situ, la amalgamación realizada en canaletas, la amalgamación realizada en el molino a bolas, de pisones o en el molino chileno, y el uso de planchas de amalgamación en circuito abierto, no deben ser tolerados debido a su excesiva pérdida de mercurio dispersado en

las colas y, consecuentemente, echado a los ríos con el serio impacto al medio ambiente.

Esto implica que **la única forma aceptable de amalgamación es la amalgamación de concentrados**. Ya hemos visto que para este propósito se utilizan varios métodos como ser:

- la amalgamación manual
- los conos de amalgamación
- los tambores de amalgamación
- otros.

Es importante notar que en general no existe un método único de amalgamación, que sea adecuado para todo tipo de concentrados. Esto se debe a que las características del oro y de los minerales acompañantes pueden ser muy diferentes y, por lo general, requieren un método de amalgamación especialmente diseñado y optimizado.

El objetivo de la optimización del proceso de amalgamación debe ser:

- recuperación máxima de oro
- mínimas pérdidas de mercurio (especialmente de “harina de mercurio”^a)
- alta seguridad y bajos riesgos de salud para el operador

5.5.1. Reducción de la “harina de mercurio” producida

La “harina de mercurio”, o mercurio molido (atomizado), conocido también como “floured mercury”, es la principal forma en que se pierde mercurio y se emite este elemento al medio ambiente en la pequeña minería, además de las pérdidas de mercurio en la quema de la amalgama y al derramar mercurio. Como se ha descrito anteriormente, el primer paso para reducir estas pérdidas es: **no utilizar el mercurio en circuitos abiertos de molienda y concentración**.

a Los flóculos de amalgama, forma en que se pierde mucho mercurio, se forman casi exclusivamente en procesos de amalgamación en circuitos abiertos (como en canaletas, mezcla in situ), donde existe mucha turbulencia de la pulpa. Ellos son agregados de partículas finas de oro, cubierto con mercurio y pegados entre ellos, que se ramifican para formar flóculos de gran área y peso absoluto bajo. La formación de flóculos de amalgama en aparatos para la amalgamación de concentrados ocurre raramente (p.ej. en mezcladores de hormigón de altas revoluciones).

El segundo paso a tomar para reducir las pérdidas de mercurio es optimizar el proceso de amalgamación en un circuito cerrado. Lamentablemente, el llamado “circuito cerrado” muchas veces tiene escapes o fugas de mercurio. Generalmente, la deposición de colas de amalgamación, no importa cuán pequeña sea la cantidad de dichas colas, no es adecuada, y el contenido de mercurio de estas colas se introduce al medio ambiente. En muchos casos, las colas de amalgamación son lixiviadas para obtener el oro restante, y a menudo los concentrados de sulfuros son tostados para su posterior lixiviación. Durante este proceso de tostado, el mercurio generalmente es emitido a la atmósfera. Si bien existen métodos para limpiar estas colas y eliminar el mercurio contenido (ver subtítulo 5.5.3.2), es aconsejable seguir el principio: evitar la contaminación antes que limpiarla.

Es importante hacer notar que en cada proceso de amalgamación se producirá un cierto porcentaje de harina de mercurio. Se debe reducir este porcentaje.

La producción de harina de mercurio está influenciada por dos factores:

- formación mecánica de perlas ultrafinas de mercurio (esto depende del equipo de amalgamación, y del ajuste de los parámetros de operación; como tiempo de amalgamación, etc.)
- alteración de la superficie del mercurio (esto depende de las características de la carga)

La formación de pequeñas perlas de mercurio durante la amalgamación es deseable para obtener una gran superficie de mercurio para su contacto con las partículas de oro.

Hasta qué punto el batido o molido del mercurio líquido produce mercurio atomizado depende de las características mecánicas del método empleado.

Generalmente, las esferas pequeñas se unen a las esferas más grandes. Este es el caso cuando la superficie del mercurio es limpia. La contaminación del mercurio altera la superficie y lleva al incremento de producción de esferas de mercurio ultrafinas, o sea, de “harina de mercurio”. El mercurio se contamina durante la amalgamación en contacto con la pulpa. Los minerales, metales y sustancias que ensucian el mercurio y favorecen la formación de harina de mercurio son descritas en el subtítulo 5.3.1. La harina de mercurio está constituida generalmente por finísimas bolitas de tamaño entre 20 y 50 μm (ver foto 26).

5.5.1.1. Métodos para limpiar y activar mercurio

El mercurio sucio es mucho menos reactivo que el mercurio limpio. Mientras el último forma glóbulos casi perfectos (casi esféricos, de un brillo metálico intenso), el mercurio sucio se caracteriza por la falta de brillo, glóbulos deformados y la tendencia de dichos glóbulos a adherirse levemente a una superficie lisa e inclinada de manera tal que parecen tener “colas”. El objetivo de un manejo cuidadoso de mercurio es: **no botarlo o perderlo, sino reciclarlo**. La gran desventaja del uso de mercurio reciclado es que, normalmente en cada circuito, el mercurio pierde algo de su fuerza de amalgamación. Por esto, para reutilizarla frecuentemente, se tiene que limpiarlo.

Existen varias maneras de limpiar y reactivar el mercurio sucio:

- pasando el mercurio a través de una tela muy fina (o mejor todavía a través de un pedazo de cuero fino)^a
- lavando el mercurio con cenizas de madera y agua, puesto que el carbonato de potasio ayuda a saponificar las contaminaciones
- lavando el mercurio en agua que contiene un detergente o una solución especial de jugo de alguna planta, que tenga la capacidad de saponificar y disolver las grasas y las sustancias grasosas
- destilando el mercurio en una retorta para dejar atrás los contaminantes que no sean volátiles
- lavando el mercurio con algún reactivo, como cal, ácido clorhídrico diluido, ácido nítrico diluido^b, etc.
- añadiendo amalgama de sodio al mercurio, el cual, al ponerse en contacto con el agua, produce NaOH e hidrógeno, que elimina contaminantes (especialmente óxidos) de la superficie del mercurio

a El mercurio exprimido contiene muchas veces oro fino o disuelto. Se lo puede recuperar destilando este mercurio en una retorta. Se recomienda poner el mercurio líquido en un crisol cerámico dentro de la retorta; en caso contrario el oro se pega al pared del crisol metálico.

b Se recomienda utilizar para esto siempre el mismo ácido, que se utiliza exclusivamente para esta finalidad. Debido a que el mercurio es soluble en ácido nítrico, al inicio el ácido ataca el mercurio formando nitrato de mercurio. Utilizando siempre la misma solución de ácido, ésta se satura con nitrato de mercurio y de ahí en adelante ataca solamente a las impurezas.

La manera correcta de limpieza para cada tipo de mercurio sucio (debido al tipo de contaminante) se debe determinar experimentalmente^a (79).

La **fabricación de amalgama de sodio** por medio de electrólisis es muy fácil. Se lo puede realizar en un recipiente de plástico que tiene dos electrodos (polo negativo: en el fondo, polo positivo: entrando de arriba). El proceso se realiza así: se coloca el mercurio sucio en el recipiente de manera que cubra totalmente la escobilla inferior (electrodo de grafito). Seguidamente se agrega el mercurio a una solución de 10 a 15% de sal de mesa (cloruro de sodio). A continuación se conecta una corriente eléctrica de 12 voltios (de una batería de carro), de manera que el polo positivo (+) esté conectado a la escobilla superior, la cual está en contacto con la solución salina; el polo negativo (-) debe permanecer en contacto con el mercurio.

De esta manera se descargan los iones sodio (Na^+) sobre la superficie del mercurio, formando amalgama de sodio. Del polo positivo se desprende gas cloro (Cl^-) en forma de pequeñas burbujas con el olor típico. Después de 10 a 15 minutos se alcanza una concentración suficiente. El mercurio reactivado tiene un brillo fuerte. **Se debe activar sólo mercurio líquido, nunca lodos de mercurio.**

Nota: ¡Nunca poner en contacto el polo positivo con el mercurio, el carbón se quemará! ¡Nunca intercambiar los polos, el mercurio se destruirá!

¡Nunca utilice el activador cuando hay presencia de harina de mercurio o partículas tan finas que puedan flotar. El mercurio que no esté en contacto con el polo negativo se convertiría por la presencia de cloro-gas en cloruro de mercurio, un veneno violento!

El mercurio reactivado puede utilizarse para:

- la recuperación de oro en la amalgamación. El mercurio activado atrapa mejor el oro y amalgama granos aún más pequeños;
- la disminución de pérdidas de mercurio y amalgama. Debido a la activación, las pequeñas perlas de mercurio se reúnen más rápidamente con otras partículas de mercurio que son atrapadas, o sea, forman menos

a Además el mercurio tiene un potencial considerable de autolimpiarse. Dejando mercurio en una botella y bajo agua durante algunos días, una gran parte de las impurezas suben a la superficie del mercurio. Sacudiendo la botella, y lavando el mercurio con agua limpia, las mismas entran en suspensión y pueden ser eliminados fácilmente. Repetiendo este proceso varias veces durante dos o tres veces, se obtiene un mercurio bastante limpio.

“harina de mercurio”; de la misma manera se reducen las pérdidas de amalgama.

- harina de mercurio recuperado (p.ej. por métodos gravimétricos) en forma de lodos se puede unir (licuar), en algunos casos añadiendo una pequeña cantidad de mercurio activado

El efecto de la reactivación del mercurio es temporal; en contacto con el agua, tanto en la amalgamación como durante el almacenamiento, pierde lentamente su acción. La actividad alta solamente se mantiene durante una o dos horas. Por esto hay que utilizarlo inmediatamente después de activarlo. Lamentablemente, el mercurio activado a veces es tan fuerte, que se amalgama más fácil con otros metales (plomo, cobre, zinc, etc.), ensuciando más el mercurio. Por esto, no da buenos resultados con todo tipo de carga.

El equipo de activación (activador) se puede construir fácilmente con tubería y tapones de PVC y un pegante plástico (de dos componentes), utilizando los carbones que se encuentran dentro de pilas usadas o escobillas de motores eléctricos. Es importante que únicamente los carbones (y ninguna parte metálica) entren en contacto con el mercurio o la salmuera.

5.5.1.2. Uso de la amalgamación manual

En algunos casos, la amalgamación manual, p.ej. en un balde o una batea, es suficiente. Es decir, es rápido y tiene una buena recuperación del oro en forma de amalgama. Esto se puede utilizar, para algunos concentrados gravimétricos con las precauciones necesarias de seguridad (guantes de goma, bajo agua, lugar bien ventilado, etc.), p.ej. en la minería aluvial o primaria (vetas de oro y cuarzo sin sulfuros). Sin duda, es la manera más barata y por esto muchas veces preferida por los mineros. La ventaja de esta manera de amalgamación es que se la puede controlar muy bien. El operador puede añadir el mercurio gota por gota, justamente la cantidad necesaria para alcanzar la amalgamación. Así el uso de mercurio es bien limitado. La amalgamación completa del oro se alcanza a menudo ya después de 5 minutos. Por esto y por la agitación relativamente suave de la pulpa, la producción de harina de mercurio puede ser mínima (hasta $< 0,1 \%$ del mercurio usado).

La amalgamación manual no se recomienda con cargas difíciles (p.ej. sulfurosas), donde el operador tiene que frotar la carga por horas, utilizando una piedra pesada en una batea de fierro o dentro de otra

piedra. La exposición del operador a vapores de mercurio y la producción de harina de mercurio es alta (ver subtítulo 5.3.2.1).

5.5.1.3. Uso de planchas amalgamadoras

Las planchas amalgamadoras, que no son recomendables en circuito abierto, pueden en algunos casos ser útiles para la recuperación de oro de un concentrado. El oro y la superficie del mercurio sobre la plancha necesariamente tienen que estar muy limpios, porque el contacto con el mercurio es de corto tiempo y no muy fuerte. Por esto la recuperación de oro con cargas sulfurosas o con oro cubierto por una capa de óxidos es baja. Para aumentar la recuperación, se puede reciclar las colas varias veces. Las pérdidas de mercurio en las colas, debido a la pequeña cantidad de material procesado son bajas (al contrario si estas planchas trabajan en circuito abierto). La evaporación de mercurio por la gran área de la plancha, durante la preparación y descarga de las planchas trae un riesgo de intoxicación elevado para los operadores ^a.

5.5.1.4. Uso de Tambores amalgamadores

Con muchas cargas, el uso de un amalgamador mecánico es inevitable. Sin duda, los amalgamadores mecánicos más usados son los tambores o barriles amalgamadores (ver fotos 35, 36). Los barriles o tambores amalgamadores son utilizados para amalgamar concentrados. La principal ventaja de la amalgamación en tambores es que la alimentación y el mercurio están contenidos dentro de un recipiente cerrado, sin fuga de pulpa y sin participación directa de un operador durante el proceso. El reactor en sí normalmente es de forma cilíndrica con un eje horizontal, parecido a un molino de bolas o rodillos, pero con la diferencia que trabaja con menos revoluciones y que no trabajan en forma continua. **El objeto de un tambor amalgamador, no es moler el concentrado durante la amalgamación. Si esto fuera necesario, se lo tiene que hacer en una etapa previa antes de añadir el mercurio.**

a Según informaciones de un fabricante de placas amalgamadores en Brasil, investigaciones recientes en ensayos pilotos mostraron una nueva forma de aplicación de las mismas: el mercurio en arenas altamente contaminadas ("hot spots") puede ser recuperado sobre planchas amalgamadoras (82).

Todos los barriles amalgamadores, no importa su tipo, tienen la ventaja común de prevenir la pérdida de mercurio metálico molido (harina de mercurio) durante el proceso de amalgamación, a diferencia de la amalgamación realizada en un circuito abierto. Las cantidades de cargas amalgamadas, y por lo tanto contaminadas, son mucho más pequeñas que en un proceso de amalgamación en circuito abierto. Dependiendo del manejo del barril de amalgamación y de los minerales acompañantes presentes, un alto porcentaje del mercurio utilizado se puede convertir en harina de mercurio. Por lo tanto, **hay que realizar la amalgamación en tambores, de tal manera que la producción de harina de mercurio sea mínima.**

Para la alimentación se utiliza un concentrado de alta ley. El tambor es cargado con el concentrado, el agua, aproximadamente dos veces más mercurio que la cantidad prevista de oro^a y una carga de medios de frotamiento. Aquí es preferible no usar bolas de molino; se ha mostrado que pedazos de cadenas de acero grueso dan mejores resultados y menor producción de harina de mercurio. Para evitar la contaminación del mercurio con hierro metálico y así mejorar la amalgamación, a menudo se utilizan también piedras redondas y un revestimiento interior del tambor con goma o plástico.

A medida que el tambor rota lentamente, su contenido se mezcla íntimamente, es decir, las partículas de oro se ponen en contacto con el mercurio y se amalgaman. Los medios de frotamiento presionan el oro dentro del mercurio, para que hasta las partículas más minúsculas, que de otra forma hubieran escapado a la amalgamación debido a la tensión de la superficie del mercurio, puedan ser también recuperadas. La ventaja de bajas revoluciones es, que de esta forma los medios de frotamiento estén en un contacto continuo con el concentrado (deslizando o rodando según su forma), mientras que con altas revoluciones se convierten en medios de trituración que sólo causan impactos de corta duración. Al final del período de rotación, leves golpes y otras formas de vibración ayudan a efectuar la separación gravimétrica, de la mezcla de amalgama y el mercurio reuniéndose en el fondo.

a Los mineros normalmente conocen bien sus productos y pueden estimar bastante bien el contenido de oro de su concentrado. En concentrados de materiales aluviales se puede trabajar con una relación Au:Hg hasta 1:1, si el oro es limpio para lograr una amalgama seca. Para garantizar una buena recuperación de oro en concentrados sulfurosos de baja ley, se tiene que utilizar generalmente más mercurio.

Con frecuencia, sin embargo, los pequeños mineros simplemente cargan piedras grandes a una mezcladora de cemento para simular un “barril de amalgamación”. La batea “Berdan” por ejemplo, es un molino de rodillos de funcionamiento lento, con una sola bola, que sigue una trayectoria circular-oblicua. A medida que la cuenca de este molino rota, la bola intenta mantenerse en el punto más bajo.

Si el oro tiene una pátina o recubrimiento de alguna sustancia, la amalgamación resulta más difícil. Esto a menudo ocurre en la minería aluvial (cauces antiguos) o primario (materiales auríferos oxidados; oro saliendo de un molino a bolas^a). Cuando éste es el caso, y dependiendo de la naturaleza del recubrimiento, **es necesario una etapa previa de limpieza** (remoción) de ésta, ya sea por medios físicos (abrasión) o químicos (disolución mediante la adición de reactivos) y, generalmente, una combinación de ambos. **En esta etapa, que es necesaria para muchos tipos de carga, no se echa mercurio al tambor.**

En la mayoría de los casos el concentrado también contiene oro grueso (partículas p.ej. mayores a un milímetro ^b), que no requiere amalgamación puesto que se lo puede separar antes por medios mecánicos (tamizado, bateado, etc.).

Por lo anterior, la operación completa de amalgamación en un tambor amalgamador comprenderá los siguientes pasos metodológicos:

- Tamizar el concentrado para separar el oro grueso.
- Una primera **etapa de limpieza**, para lo cual el tambor o recipiente se carga con el concentrado, suficiente agua y diferentes sustancias (cal, detergente, etc.) para facilitar la remoción del recubrimiento que podría inhibir la amalgamación.^c
- Agregar agua fresca para lograr una pulpa densa.

a En contrario p.ej. a molinos de martillos, donde el oro sale en muy poco tiempo y bastante limpio, el oro de molinos a bolas se queda mucho más tiempo en el molino y sale aplastado a veces sucio.

b El tamaño mínimo del oro grueso, que se puede separar antes de amalgamar el concentrado, depende principalmente de los minerales acompañantes y de la forma del oro: lo más pesados los minerales acompañantes y lo más laminar el oro, lo más difícil es para recuperarlo del concentrado p.ej. en batea, y lo más grueso es el oro que luego se amalgama.

c La etapa de limpieza solo es necesario en caso de oro sucio, en caso de oro limpio la amalgamación puede funcionar bien sin etapa previa de lavado.

- Una vez cerrado herméticamente el tambor, someterlo a rotación por una hora (algunas veces puede requerir más tiempo). Parar el equipo, dejar decantar por un instante y eliminar cuidadosamente el agua sucia de lavado.
- Agregar agua fresca para lograr una pulpa densa.
- Añadir el mercurio, en la cantidad mínima necesaria. Cualquier exceso sólo contribuirá a su atomización y consecuente pérdida como harina de mercurio. Generalmente es mejor producir una amalgama seca. Si fuese necesario, añadir también algún coadyuvante (sal, azúcar, cal, etc.).
- Cerrar herméticamente el tambor y ponerlo en funcionamiento. Con material sulfuroso, se requiere normalmente alrededor de una hora. Algunas veces, dependiendo del material, se requiere mayor tiempo. El material aluvial limpio, a veces necesita sólo cinco hasta diez minutos para amalgamarse. Excederse en el tiempo de amalgamación resulta en mayor producción de harina de mercurio y pérdidas de oro fino dentro de ella.
- Parar el equipo, dejar decantar, proceder a la descarga del material amalgamado y lavar el interior del reactor meticulosamente.
- Proceder con la siguiente etapa de separar la amalgama y el mercurio libre de las colas de amalgamación (ver subtítulo 5.5.4).

Reactivos apropiados para mejorar la amalgamación incluyen cal apagada, hidróxido de sodio, amalgama de sodio, cianuro potasio, ácido nítrico diluido, detergentes y otras sustancias^a. Si no se dispone de un método para la subsecuente destrucción de cianuro (p.ej. con oxidantes fuertes) en las aguas residuales y las colas de la amalgamación, no se debe usar este químico. **Cualquier ácido tiene que ser bien diluido, porque los ácidos pueden disolver el mercurio.**

El tipo y las dosis de los reactivos, así como la duración de la etapa de limpieza y la duración de la amalgamación, deberán determinarse experimentalmente, dependiendo del tipo de carga.

Los parámetros mecánicos básicos para la operación de los barriles de amalgamación son: a) el tipo y la cantidad de alimentación, b) el tipo y la cantidad de medios de frotación y c) la velocidad del tambor. La velocidad de rotación para la amalgamación es aproximadamente sólo la mitad de la

a Exceso de detergentes resulta en elevada producción de harina de mercurio

velocidad de un molino a bolas del mismo diámetro. La lentitud del tambor ayuda a reducir la formación de mercurio atomizado.

La amalgamación de concentrados ricos en sulfuros es a veces optimizada con éxito añadiéndole arena de cuarzo blanco al barril. Parece que los granos de arena limpian mecánicamente las partículas hidrófobas de sulfuro fuera del mercurio y limpian su superficie.

Nunca se debe emplear simultáneamente la amalgamación y la molienda en el tambor amalgamador. Esta combinación de procesos, que se encuentra frecuentemente para el tratamiento de preconcentrados que todavía contienen partículas entremezcladas, es sumamente dañina para el medio ambiente por producir elevadas cantidades de harina de mercurio que permanecen en las colas de la amalgamación.

Sin embargo, en algunos casos la amalgamación en tambor amalgamador con reactivos coadyuvantes no da los resultados esperados, especialmente con concentrados de minería primaria que contienen muchos sulfuros de arsénico, antimonio o bismuto. En este caso, se tiene que reducir la cantidad de sulfuros gravimétricamente para enriquecer el concentrado y fundirlo directamente.

Los tambores de amalgamación son adecuados para ser manufacturados localmente. Los talleres metalmecánicos pueden producir tambores sencillos a partir de secciones de cañerías de gran diámetro, láminas de metal, etc. Muchos tambores sencillos de amalgamación que se utilizan actualmente son impulsados por pequeñas ruedas hidráulicas (ver foto 36).

Otros tipos de amalgamadores utilizados en Latinoamérica son los conos de amalgamación con agitador eléctrico, que en su operación son parecidos a la amalgamación manual en balde, utilizando un palo para agitar la pulpa (ver subtítulo 5.3.2.1).

5.5.2. Técnicas para recuperar mercurio de un circuito abierto

El daño al medio ambiente ocasionado por el mercurio utilizado en circuito abierto ya ha sido discutido varias veces. Por lo tanto, el objetivo de cualquier desarrollo tecnológico debe estar basado en ofrecer a los pequeños mineros técnicas alternativas de procesamiento. De acuerdo a la experiencia en diferentes proyectos de este tipo, un cambio completo de las técnicas de procesamiento es un proceso largo, especialmente si se involucran las inversiones de los mineros. **Los ejecutores de un proyecto de asistencia técnica generalmente no son los dueños de las minas o de las plantas**

de procesamiento. Si el uso del mercurio en un circuito abierto no se puede evitar en algunas regiones, por lo menos a corto o mediano plazo, el mercurio debe ser recuperado más efectivamente del circuito abierto para poder reducir la cantidad de mercurio emitido. Esta táctica se debe utilizar como **una medida a corto plazo**. Felizmente cuando los mineros están de acuerdo, como primer paso, de aceptar asistencia técnica externa, el segundo paso (eliminar el uso del mercurio en circuito abierto) es más fácil.

Una vez más recalcamos que la regla básica es: **la prevención debe ser implementada preferiblemente antes que la limpieza posterior** (es preferible no contaminar las colas con mercurio, permitir su contaminación durante el proceso y limpiarlas posteriormente).

Para recuperar el mercurio de las colas descargadas de una planta existen diferentes métodos posibles:

- **Trampas de mercurio:** las trampas hidráulicas, se usan para la recuperación del mercurio de pulpas de grano fino, que resultan de combinar la molienda con el proceso de amalgamación. Mientras gotas grandes de mercurio y trozos de amalgama se pueden recuperar fácilmente, la harina de mercurio sólo es recuperada en cantidades pequeñas. Existen trampas hidráulicas de laberinto y con inyección de agua.
- **Planchas de amalgamación:** En muchas plantas en la pequeña minería primaria, las planchas son utilizadas como el único paso de concentración o recuperación del oro, por ejemplo, inmediatamente después de los molinos trapiches, molinos de piones, o martillos, donde se echa el mercurio para combinar molienda y amalgamación. Las planchas amalgamadoras necesitan mercurio, amalgama y oro limpio para recuperarlos. Las partículas de oro y amalgama bajan por su alto peso específico al fondo de la pulpa, y –en caso que estén limpias– toman contacto con la superficie de mercurio en la plancha y son atrapadas, mientras que el mercurio atomizado, mercurio y oro ensuciado y flóculos de amalgama pasan sin pegarse. Las pérdidas de mercurio y oro en planchas de amalgamación, dependiendo de la carga y del manejo, pueden ser muy altas.
- **Canaletas:** Las canaletas con una cubierta textil o de alfombra, cuidadosamente operadas (lavados frecuentes), pueden recuperar el mercurio atomizado mejor que las trampas de mercurio o que las planchas de amalgamación. Al contrario de las últimas, las canaletas dependen sólo del peso específico del mercurio (o amalgama, u oro) y no de una superficie limpia. Mientras el movimiento de las partículas en la pulpa hacia el fondo es parecido, el mecanismo de adhesión a las alfombras no es

perjudicado por superficies sucias. Las canaletas también pueden recuperar una parte de los flóculos de amalgama, que pasan por planchas y trampas sin detenerse.

Un proyecto que quiere mejorar rápidamente la situación ambiental en una región, donde se utiliza amalgamación en flujo abierto, puede, mientras la concientización de los mineros para cambiar todo su proceso tarda, instalar canaletas con alfombras en las colas de las plantas amalgamadoras para recuperar algo del mercurio/amalgama perdido. Esto es barato y sirve efectivamente para demostrar a los mineros las pérdidas de mercurio y oro, que ocurren en su sistema. Así se logra más fácil el acuerdo con los mineros para cambios substanciales.

5.5.3. Las colas de amalgamación

Las colas de amalgamación siempre están contaminadas con mercurio, en cantidades muy variadas. Existen dos posibilidades de acción (a parte de la más importante, que es minimizar el contenido de mercurio, ver arriba):

- depositarlas apropiadamente
- limpiarlas.

Ambas alternativas casi son imposibles de aplicar a colas de la amalgamación **en circuitos abiertos**, en las condiciones de la pequeña minería. La cantidad de colas para una pequeña mina aurífera primaria en una operación típica (en Bolivia: molino a bolas 3' x 4', en Brasil y Venezuela: molino a martillos, en Ecuador: Trapiche) con una **capacidad promedio de 20t/d** suman en un año alrededor de **6.000 t**. Una pequeña **mina aluvial**, que p.ej. con una bomba de grava de 5" mueve alrededor de **100m³/d** de material aurífero, las colas de un año suman **30.000m³**. Si bien existen maneras de limpiar colas contaminadas por mercurio (ver abajo), es poco probable, que una pequeña mina realice esta limpieza.

La construcción de un depósito seguro para las colas de preconcentración contaminadas (con revestimiento de HDPE, sobre una capa de arcilla impermeable, etc.) es por su costo elevado poco alcanzable para la pequeña minería. Además, el manejo de un dique de colas requiere bastante conocimiento técnico e implica muchos peligros.

Por esto, vale repetir: no se debe amalgamar en circuito abierto.

Para colas de amalgamación de concentrados hablamos de otros volúmenes:

Los concentrados gravimétricos que se amalgaman en “circuito cerrado” son, para la misma capacidad de la mina (20t/h para una mina primaria y 100m³/d para una mina aluvial) no más que 10-50kg por día. La cantidad acumulada alcanza a **3-15t por año**. Siendo más que todo minerales pesados (con un peso promedio en forma de arena suelta de 2-3t/m³), se trata de un máximo de alrededor de 10m³ por año. Esta cantidad de material contaminado sí puede ser depositada de una manera segura o limpiada. Frecuentemente se puede demostrar a los mineros, que este material todavía contiene considerables cantidades de oro; de esta manera se puede incentivar para que sea almacenado en un lugar seguro para tratamiento futuro. Así tampoco se pierde la posibilidad de un futuro reprocesamiento con métodos descontaminantes.

5.5.3.1. Depósitos para colas contaminadas

Existen varias formas de depositar colas contaminadas. La forma apropiada depende mucho del lugar, de las posibilidades de conseguir ciertos materiales, etc.

Para colas sulfurosas, los cuales se venden cada cierto tiempo a plantas de lixiviación, se debe instalar **un depósito temporal**. Este generalmente es una taza de hormigón, techada y bien ventilada, donde se almacenan las colas hasta su transporte a la planta de lixiviación en forma suelta, o mejor, en sacos (se debe mencionar que en las plantas de lixiviación el manejo de las colas requiere el mismo cuidado^a).

Colas contaminadas con mercurio, que no pueden ser vendidas como subproductos auríferos se tienen que acumular en depósitos apropiados. Los requerimientos para estos son:

- evitar el contacto con aguas subterráneas
- protección contra el arrastre de aguas de lluvia
- protección contra arrastres del viento.

La base impermeable y las paredes del depósito se pueden construir utilizando materiales del lugar como arcilla, bentonita, caolinita, etc. Si está disponible, es recomendable utilizar un material con alto contenido de

a Para asegurarse del manejo correcto de los materiales tratados, se recomienda comprobar todo el camino del material vendido a las plantas de lixiviación hasta su deposición final. El objetivo no debe ser solamente trasladar la contaminación a otros lugares.

hidróxido ferroso (limonita presente en suelos lateríticos) debido a su alta capacidad de absorción de mercurio (80) o utilizar plástico grueso (p.ej. HDPE), que se consigue fácilmente cuando existen minas grandes en los alrededores. Mayor seguridad se obtiene cuando se combinan ambos materiales.

En el caso de minas primarias, se puede también depositar colas dentro la mina, en un lugar seco sin flujo de aire hacia los lugares de trabajo (que se queda seco también cuando se paran las bombas).

Otra medida de protección puede ser la cobertura de las colas contaminadas con una capa de varios centímetros de piritas no-contaminadas debajo de una capa de materiales impermeables (arcillas, etc.). El ambiente anaeróbico promueve estabilización del mercurio en forma de cinabrio (HgS) poco soluble y poco tóxico (81).

5.5.3.2. Métodos de limpieza de colas contaminadas

Existen varios métodos para la limpieza de materiales inorgánicos contaminados por mercurio.

- **métodos gravimétricos:** Como se mencionó anteriormente, se puede recuperar parte de la harina de mercurio utilizando equipos gravimétricos (canaletas con alfombras, mesas concentradoras, centrífugas, etc.).
- **planchas amalgamadoras:** Si el mercurio atomizado no es demasiado sucio, se puede recuperar parte del mercurio con planchas amalgamadoras (82) (ver subtítulo 5.5.2).

Los dos métodos anteriormente presentados, no lograrán limpiar las colas totalmente. Los resultados dependen mucho de la granulometría (en caso de equipos gravimétricos- mercurio en bolitas gruesas es bastante fácil de recuperar) o de la granulometría y la superficie del mercurio (en caso de planchas amalgamadoras).

- **métodos térmicos:** Calentamiento del concentrado en un recipiente cerrado a más de 400°C , con la salida de los gases a un filtro (especialmente de carbón activado). Esto implica altos costos de energía.
- **métodos químicos:** Lixiviación por varios químicos. En los últimos años, se ha obtenido buenos resultados con el “Electroleaching”, utilizando en un reactor, NaCl , HCl y corriente continua para lixiviar el mercurio y depositarlo sobre electrodos de grafito. En este proceso, si bien la extracción de mercurio es buena, requiere mayor inversión y muy buenos conocimientos técnicos de los operadores (83).

- **flotación:** Flotación de las partículas de mercurio. El proceso, si bien ha dado buenos resultados en algunos casos, no es fácilmente manejable y requiere mayor inversión y personal experimentado.

Este listado muestra, que **los métodos para limpiar los concentrados son de eficiencia limitada o complicados y costosos; por ello, en la mayoría de los casos, lo más aplicable y recomendable para la pequeña minería es la acumulación en depósitos apropiados.**

5.5.4. Técnicas para recuperar amalgama de un concentrado

Luego de la amalgamación del concentrado (en circuito cerrado), la amalgama y el mercurio deben ser separados de las colas de la amalgamación. En este paso del proceso pueden ocurrir grandes pérdidas de amalgama y mercurio. Para minimizar las pérdidas de oro y también las pérdidas de mercurio en las colas se debe manejar estos con mucho cuidado y utilizar el equipo apropiado.

5.5.4.1. Batea

En la mayoría de las plantas en la pequeña minería se realiza este proceso con una batea. Este es muy lento, e implica mucho riesgo de robo. Además, dependiendo de la habilidad del operador, las pérdidas de mercurio y amalgama pueden ser altas.

5.5.4.2. Hidroseparator (elutriador)

El hidroseparator (o elutriador) es un aparato simple para separar amalgama de arenas negras y piritas después de la amalgamación del oro (ver Foto 37).

Sus ventajas son:

- proceso rápido y seguro
- buena recuperación
- manejo simple
- no necesita motor (pero si agua a presión de por lo menos 5 m de altura)
- bajo costo.

El hidroseparator separa partículas por su diferente peso específico; separa la amalgama y el mercurio de las colas de amalgamación (piritas y

arenas negras), en una columna de agua de flujo ascendente en contracorriente alimentada con sólidos.

Las piritas y/o arenas negras, por su peso más liviano, son elevadas por la columna ascendente de agua, expulsadas por el borde del embudo de separación y recolectadas en el cuello de recepción; luego son vaciadas a un recipiente exterior (balde).

La amalgama, el mercurio y, eventualmente, el oro libre, se hunden debido a su alto peso específico hasta llegar al recipiente colector de amalgama, que se puede retirar fácilmente del tubo de separación, después de terminar el proceso.

Es posible regular la fuerza ascendente de la corriente de agua, abriendo o cerrando la válvula de ingreso de la misma.

VÁLVULA MÁS ABIERTA RESULTA EN:	VÁLVULA MÁS CERRADA RESULTA EN:
• mayor flujo de agua ascendente • separación más rápida • salida de partículas más gruesas • posible pérdida de partículas finas de amalgama y mercurio • amalgama recuperada más limpia	• menor flujo de agua ascendente • separación más lenta • salida de partículas más finas • mejor recuperación de amalgama y mercurio fino (atomizado) • amalgama recuperada con impurezas de piritas y/o arena gruesa

Para una separación eficiente, se recomienda tamizar la carga (clasificar), para evitar la entrada de piritas y/o arena negra con tamaño mayor a 2 mm, difíciles de suspender y eliminar con un flujo suave de agua. El grano grueso puede tratarse separadamente con batea. Si no se eliminan las partículas gruesas, estas descenderán junto con la amalgama al fondo del recipiente colector.

Es necesario alimentar el separador hidráulico en forma continua con un volumen de carga constante.

Se debe regular la corriente ascendente de agua de manera tal que las piritas y/o la arena negra salgan y se eliminen lentamente.

Para asegurar una buena recuperación de la amalgama, se puede repetir el proceso realimentando las colas una y otra vez, con menor presión de agua, hasta lograr una buena recuperación o con el mismo propósito, instalar 2 ó 3 elutriadores en serie para facilitar el repaso.

Terminada la alimentación de carga, se cierra la válvula y se retira el recipiente de amalgama del tubo de separación. Normalmente, el producto no es totalmente limpio. Todavía contiene partículas de mineral pesado grueso, que se pueden eliminar con una batea.

El hidroseparador puede ser fabricado fácilmente en talleres locales.

5.5.4.3. Batea mecánica

La batea mecánica es otro equipo para separar mercurio y amalgama de las colas de la amalgamación. Ella consiste de un plato con canales en forma de espiral, que gira impulsado por un pequeño motor. La carga es alimentada al plato, el agua se añade por un chisguete. La amalgama sube en los canales al centro del plato, para luego pasar por el eje (un tubo) central y ser recuperado en un recipiente, mientras las colas salen del plato por el borde inferior del plato (ver Foto 38).

La batea mecánica es más lenta que un hidroseparador, pero trabaja mejor en el caso de minerales acompañantes gruesos o muy pesados (arsenopirita, casiterita, etc.). Se la puede fabricar en talleres locales.

5.5.4.4. Otros equipos para separar amalgama de las colas de amalgamación

Combinadas con tambores de amalgamación de fabricación local, a menudo se encuentran canaletas metálicas con rejillas de metal para recuperar la amalgama, las cuales son vibradas por un mecanismo acoplado al motor del tambor, en sentido transversal al flujo de la pulpa. Los resultados son buenos para amalgama y mercurio líquido, porque permiten la unión de perlas de mercurio; la recuperación de harina de mercurio es baja.

A menudo, los mineros separan la amalgama de las colas con “elutridores rústicos”. La mezcla de amalgama y arenas negras o sulfuros se vierte sobre una batea (o un pequeño balde) que está colocada dentro de otro recipiente más grande con agua; la amalgama se queda en la primera batea y los minerales pesados rebosan al otro recipiente. La recuperación después de varios repasos del mismo material es aceptable.

Se vuelve a mencionar, que con ningún método arriba presentado se puede recuperar todo el mercurio atomizado de las colas. Siempre se obtienen colas contaminadas con mercurio, en un grado más o menos alto.

5.5.5. Técnicas para separar oro y mercurio amalgamados

La separación de oro y mercurio para obtener el producto final es generalmente el último paso que realizan los mineros antes de vender su oro. Al contrario de las emisiones por el uso del mercurio en circuito abierto –las cuales afectan generalmente muy poco a los mismos mineros–, las emisiones que se producen en este paso del proceso (generalmente la “quemá” de amalgama^a) constituyen –aparte de ser un impacto ambiental negativo– un alto riesgo para la salud de los operadores, que inhalan vapores de mercurio.

5.5.5.1. Retortas para la destilación de mercurio

Una retorta es un recipiente similar a un crisol, con un mecanismo para abrir y cerrar el mismo, un tubo de salida en la cabeza del recipiente, es decir, en la tapa, y un cuello que apunta hacia abajo, similar a un tubo, que sirve como condensador. Ella sirve para destilar la amalgama y recuperar el mercurio condensado.

El tipo más sencillo de condensador consiste de un tubo recto envuelto en trapos mojados. Construcciones más elaboradas incluyen una envoltura llena de agua o incluso un enfriador de contracorriente que emplea el agua como refrigerante en un ciclo abierto o cerrado. La amalgama a ser separada se introduce en el crisol; puede estar envuelta en papel, cuya ceniza formará una capa intermedia no adhesiva entre el oro y la pared de la retorta.

Se consiguen mejores resultados aplicando una capa fina de cal, tiza, arcilla o talco al interior del crisol antes de que se lo cargue con amalgama. Esto evita que el oro se pegue al fondo y las paredes de la retorta luego de la destilación (nunca se debería utilizar materia grasa, ya que se evaporaría junto con el mercurio, desactivando su superficie para su posterior uso en el proceso). Luego, el crisol es cerrado y calentado para elevar la temperatura de la mezcla de oro y mercurio aprox. a 400°C, para que el mercurio se evapore. A medida que pasa por el condensador, el vapor de mercurio se

a Aunque se habla de la “quemá” de amalgama, esto no es una verdadera quemá. Se trata más bien de la evaporación del mercurio en forma de vapor metálico (no en forma de óxidos), por calentamiento.

condensa en el tubo y gotea a un recipiente lleno de agua. El agua previene una mayor evaporación. El mejor resultado se logra, dejando terminar la salida del tubo en una funda de plástico transparente, herméticamente sellada con una liga elástica y hundida en un recipiente de agua. De esta forma el sistema “crisol-refrigerador-funda” queda absolutamente cerrado, y se evita la más mínima fuga de mercurio. Las retortas se deben calentar siempre de tal manera que se aplique calor a todos sus lados, incluyendo el tubo de salida.

De otra forma, algo del mercurio se podría condensar antes de alcanzar el condensador; en ese caso volvería a entrar al crisol y tendría que ser redestilado.

En cualquier caso, una vez que el calor ha sido retirado, se debe tener cuidado para asegurarse que el enfriamiento siguiente no atraiga el agua al crisol. Si esto ocurriese, el crisol, todavía caliente, podría explotar debido a la evaporación instantánea del agua. Este riesgo puede ser evitado a) haciendo terminar el tubo del condensador justo encima del agua en el recipiente b) usando la funda plástica antes mencionada.

Las retortas se pueden manufacturar localmente a un bajo costo y con pocos problemas u obstáculos en su construcción, si se tiene el cuidado de respetar ciertos detalles de diseño básico (ver foto 41). Primero, el área de condensación para el mercurio se mantendrá lo más pequeña posible para minimizar su pérdida debido a la adhesión de gotas finas de mercurio en la parte interna de la retorta. Por ejemplo, el tubo de refrigeración debe ser de un diámetro pequeño y hecho de fierro o acero, debido a que el cobre o láminas de zinc se amalgamarían con el mercurio. El interior del tubo debe ser muy liso para no frenar el deslizamiento del mercurio. A pesar de dichas precauciones, algunos bolitas finas de mercurio podrían permanecer en la retorta, la cual debe ser lavada para recuperarlos.

El cierre del recipiente es otro detalle crítico. No importa qué tipo de retorta se utilice, el criterio más importante es el cierre hermético. Si se ve que una retorta tiene una fuga, primero se debe tratar de hermetizar el cierre mecánicamente (limar, lijar, etc.); si esto no resulta, se puede aplicar una mezcla húmeda de arcilla y ceniza (antes de la destilación). La arcilla no debe tener grano grueso.

Las retortas más simples, hechas de accesorios de tuberías de tipo comercial, acoplamientos y secciones de tubería, tienen ciertas desventajas en cuanto a su facilidad de manejo. Este tipo de retorta rústica tiende a desarrollar fugas.

El uso de la retorta tiene varias desventajas, por lo que a veces a los mineros no les gusta aplicarla (84):

- utilizar la retorta generalmente requiere más tiempo que quemar la amalgama al aire libre
- la amalgama y el oro no son visibles durante el proceso, lo cual es un factor de susceptibilidad para algunos pequeños mineros tradicionales
- dependiendo de los minerales acompañantes, el oro que ha sido pasado por la retorta, algunas veces presenta una superficie de color gris. Esto muchas veces es causado por la quema de sulfuros, que están atrapados en la amalgama^a. Los comerciantes en oro, quienes siempre buscan una razón para bajar el precio del mismo, pagan menos por este oro “sucio”.
- el oro de una retorta muchas veces se sintetiza o se funde parcialmente. Los comerciantes en oro pagan un menor precio por este oro, aludiendo que podría contener arena negra, o metales, como el cobre. Además, los pequeños mineros están acostumbrados a distribuirse el oro entre ellos luego de quemar la amalgama. Esto es bastante difícil de realizar con oro sinterizado o fundido.

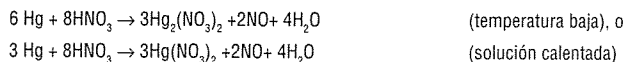
Generalmente, los mineros prefieren mercurio nuevo y consideran al mercurio recuperado, por destilaciones u otros procesos como mercurio “cansado”. Tienen miedo de perder oro al usar el mercurio reciclado, por no conocer técnicas apropiadas para la limpieza del mercurio contaminado. Estas técnicas adicionales deben ser incluidas en una campaña para la divulgación del uso de retortas.

5.5.5.2. Disolución con ácido nítrico

La disolución del mercurio mediante ácido nítrico puede ser una alternativa viable para la separación oro-mercurio, si se recupera después el mercurio de la solución residual mediante cementación.

La reacción de disolución ocurre como sigue (85):

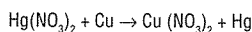
a John Hollaway de Zimbabwe nos informó que la ceniza de huesos (mayormente trifosfato de calcio), como copelas para análisis de fuego (que consisten del mismo material) son absorbentes fuertes para impurezas. Por esto el recomienda colocar el oro dentro de la retorta sobre una capa de este material, para obtener un oro de aspecto limpio.



La solución es exotérmica y calienta rápidamente. El oro contenido en la amalgama no es afectado por el proceso.

Una vez que el residuo esponjoso de oro ha sido separado del nitrato disuelto, el mercurio puede ser recuperado a través de un intercambio de iones con cobre u otros metales no preciosos, produciendo nitrato de cobre o nitrato de otros metales. La cementación con cobre permite una recuperación de más del 98% del mercurio de la solución, y produce mercurio líquido. La cementación con hierro tiene una recuperación de casi 100% del mercurio, pero produce mercurio en forma de lodos, que luego tienen que ser destilados con una retorta para obtener mercurio líquido (86).

La reacción química para la cementación del mercurio con cobre es:



El problema principal en relación con esta separación química consiste en que los mineros en general no realizan el último paso: la precipitación del mercurio. El nitrato de mercurio altamente tóxico, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, generalmente es vertido directamente al medio ambiente (87). Menos nociva, pero tampoco aceptable, es la emisión de nitrato de cobre. De la solución cuprífera se puede precipitar el cobre utilizando alambres de hierro, lo cual resulta en una solución residual de nitrato de hierro, que se puede neutralizar con cal.

Viendo todos los pasos necesarios, se puede verificar que el proceso de disolución con ácido nítrico representa un método relativamente complejo. **Su uso adecuado, especialmente en las minas informales, parece por ello poco probable.**

5.5.5.3. Campana y filtro

En algunas minas más grandes y también en las tiendas de los comerciantes de oro, la quema de la amalgama es realizada bajo una campana, utilizando un extractor eléctrico para prevenir el escape del vapor de mercurio. En la mayoría de los casos, la chimenea tiene su escape justo fuera del edificio o, en el peor de los casos, en el mismo cuarto (ver Foto 27). En operaciones más sofisticadas, el flujo de aire entra a través de un sistema de filtros (por ejemplo con chisguetes de agua), donde la condensación o la precipitación del mercurio se llevará a cabo. No existen datos disponibles

acerca del trabajo y rendimiento de dichos filtros y actualmente los autores llevan a cabo una labor de investigación sobre este tema, utilizando filtros llenados con canicas de vidrio (o pequeñas gravas lisas, p.ej. de cuarzo). El mercurio se recupera parcialmente en forma de bolitas ultrafinas (lodos) que después deben ser destiladas en una retorta para obtener mercurio líquido reutilizable. Así no se puede evitar el uso de una retorta completamente, pero los mineros pueden quemar su amalgama viéndola. De vez en cuando, los lodos de mercurio son extraídos del filtro y destilados. **Si bien este método parece ser una alternativa a la retorta (por lo menos en casos donde el uso de una retorta no es difundible), faltan todavía datos finales sobre su rendimiento.** Los datos disponibles hasta la fecha muestran, que la recuperación del mercurio en un sistema de campana y filtro (sin el uso p. ej. de carbón activado) queda inferior a lo de una retorta. Sin embargo, existe la posibilidad de optimizar el equipo/proceso.

5.6. Procesos y métodos alternativos

Los procesos alternativos son aquellos que **permiten obviar completamente el uso de mercurio**. Estos procesos fueron considerados hasta ahora en último lugar por las siguientes razones: encontraron poca aceptación entre los pequeños mineros; su implementación dentro del margen de los proyectos con la pequeña minería resulta dificultosa y la introducción de estas innovaciones amplias provoca costos adicionales, obligando a las empresas mineras a someterse a modificaciones o cambios que podrían resultar exitosas en casos aislados.

5.6.1. *Aplicación de la cianuración en la pequeña minería aurífera y sus riesgos ambientales*

La cianuración es una tecnología que se utiliza desde hace 100 años en la recuperación de oro primario, sobre todo en la minería grande y mediana. En la pequeña minería, su uso es bastante nuevo.

Debido a que algunos materiales auríferos (oro refractario o fino) no pueden ser concentrados satisfactoriamente por ningún método gravimétrico, en los últimos años el empleo de la cianuración se ha difundido bastante en la pequeña minería aurífera de los países andinos como Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Venezuela, y también en varios países africanos.

Al margen de sus indudables ventajas de alta recuperación, la cianuración, empleada rústicamente, puede causar y está causando un grave impacto ambiental. El cianuro es altamente tóxico. Sin embargo, al contrario del mercurio, el cianuro es biodegradable. A continuación se presentan algunas técnicas utilizadas en la cianuración artesanal, sus riesgos y peligros ambientales y algunas posibilidades para controlar o disminuir esos impactos ambientales (88).

5.6.1.1. Tecnologías artesanales de cianuración

Existe una diferencia significativa entre la manera cómo se puede emplear el proceso de cianuración de una manera controlada y optimizada y el modo cómo se la emplea actualmente en la pequeña minería. Lamentablemente (para el medio ambiente), la cianuración como proceso básico no tiene nada de “alta tecnología”. Al contrario, puede ser utilizada sin ninguna experiencia o habilidad; lo comprueban muchos ejemplos en la práctica. Más aún, la cianuración rústica requiere menos capacidad técnica y, en sus formas más rústicas, incluso menos capital de inversión que una buena planta gravimétrica, como vamos a ver en los próximos ejemplos.

Materiales tratados

Por lo general, en la pequeña minería la materia prima para la lixiviación con cianuro son las colas de los procesos gravimétricos. La explotación de mineral de vetas de este tipo es muy selectiva, la carga fresca que entra a una planta de concentración gravimétrica es relativamente rica, pero debido a la recuperación incompleta de los procesos gravimétricos, en las colas de estas operaciones todavía se presentan buenos contenidos de oro. El procesamiento por cianuración de materiales con bajos contenidos de oro sólo se justifica si los tonelajes de tratamiento son altos.

Generalmente el material se lixivia sin un tratamiento previo. Si el oro en las colas está relacionado con sulfuros, y la ganga no sulfurosa contiene poco oro, en algunos casos se hace un enriquecimiento gravimétrico antes de cianurar.

Con el uso de la cianuración se podría suprimir completamente la amalgamación de concentrados auríferos, recurriendo a la fundición directa de los concentrados más ricos para recuperar el oro grueso. Las “segundas” (productos con un contenido significativo de oro) se podrían cianurar

después. Así se trabaja en muchas minas medianas y grandes. Lamentablemente, en casi todas las operaciones de la pequeña minería, se siguen amalgamando los concentrados para después cianurar las colas de la amalgamación, empleándose así dos procesos peligrosos para el medio ambiente (y para la salud de los trabajadores).

A diferencia de otros países, en Bolivia, las pocas empresas pequeñas que utilizan la cianuración para el tratamiento de colas de amalgamación, que pueden comprar de las minas pequeñas, normalmente calcinan el material sulfuroso antes de cianurar. En el proceso de calcinación, generalmente los filtros empleados no son óptimos. Por esto, no sólo el azufre y el arsénico en sus formas oxidadas se van a la atmósfera, sino también el contenido de mercurio de los concentrados, que a veces es alto, es emitido al medio ambiente.

Percolación

La lixiviación por percolación es el proceso más usado en la pequeña minería (ver fotos 12, 13).

Las bases técnicas y los detalles del proceso se encuentran en la literatura respectiva (79, 89).

La lixiviación por percolación tiene las siguientes ventajas:

- proceso simple;
- bajos costos de inversión;
- alta seguridad de funcionamiento.

Las desventajas son:

- prolongado tiempo de lixiviación;
- menor recuperación.

La mala recuperación en la lixiviación por percolación puede mejorarse a través de las siguientes medidas:

- empleando material de alimentación más limpio;
- cubriendo los estanques con una red de malla fina para impedir la entrada de material orgánico (evitando el consumo adicional de oxígeno, sirviendo al mismo tiempo como protección de seguridad para la fauna);
- mejorando la circulación de la solución y, por ende, del oxígeno
- deslamando o separando las partículas más finas (p.ej mediante una clasificación hidráulica), que podrían ser lixiviadas separadamente por agitación;

- en la precipitación con zinc, mejorando el cierre de aire, o bien aplicando vacío (bomba de chorro de agua);
- en general, mejorando el control del proceso.

Igualmente, el alto consumo de reactivos puede ser controlado mediante un mejoramiento del sistema de control del proceso. Es casi imposible separar efectivamente los cianicidas (sustancias que consumen cianuro o bien lo ligan, y de esta manera entorpecen el proceso de lixiviación) sin el empleo, por ejemplo, de flotación para el enriquecimiento preliminar de los componentes minerales con contenido aurífero.

Agitación

Aquí el material se lixivia en tanques de agitación con la adición de aire y/u oxígeno. El proceso de disolución se lleva a cabo de una manera más rápida y efectiva.

El recurso técnico, los costos de inversión y de operación definitivamente son más altos que en la percolación.

Por este motivo, la lixiviación por agitación todavía no se ha difundido en algunas regiones. En otros lugares, se la emplea especialmente para la lixiviación de concentrados altamente enriquecidos (por ejemplo residuos de amalgamación).

5.6.1.2. Impactos ambientales de la cianuración

Los impactos ambientales causados por el uso de la cianuración en la pequeña minería son los siguientes:

- emisión debido al almacenamiento inadecuado de las colas de lixiviación, contaminadas con cianuro y metales pesados, que en muchos casos todavía contienen sulfuros
- emisión de soluciones cansadas, con contenidos de cianuro y metales pesados
- emisión de gases y polvos de metales pesados en el proceso de calcinación y fundición de los precipitados
- emisiones de gases nitrosos y nítricos por la refinación del doré con ácido nítrico
- emisiones de metales pesados en el proceso de desecho de los ácidos utilizados para la refinación.

El contenido de metales pesados en las colas y las soluciones gastadas está relacionado directamente con la composición mineralógica de la materia prima. Los metales pesados que contaminan la solución pueden provenir de las siguientes fuentes (Tabla 18):

TABLA 18
FUENTES DE METALES PESADOS EN SOLUCIONES DE LIXIVIACIÓN CON CIANURO

Zinc	• Zinc metálico (de las virutas para la precipitación) • minerales de zinc parcialmente disueltos (esfalerita, marmatita, smithsonita)
Cobre	• Minerales de cobre (azurita, cuprita, malaquita, bornita, etc.)
Arsénico y Antimonio	• Sulfuros (arsenopirita, rejalgar, antimonita, etc.) y sulfosales (enargita, tetraedrita).
Plomo	• Aditivos de sales de plomo para mejorar el proceso, minerales de plomo
Fierro	• El Fe en forma metálica casi no tiene efecto nocivo o lo tiene muy poco, al igual que algunos de sus minerales oxidados como la limonita. Entre los sulfuros, la pirita, marcasita y pirrotina, se disuelven parcialmente formando ferrocianuros; de los tres mencionados, la pirita es la más estable y la pirrotina la más soluble. Una alta presencia de pirrotina ocasiona un alto consumo de cianuro.

Se tiene conocimiento de muchas operaciones que trabajan con minerales bastante piritosos sin ningún pretratamiento, confirmando el poco carácter cianicida que tiene la pirita. Sin embargo, muchos otros tipos de sulfuros complican bastante la cianuración. Recomendaciones para el manejo de estas cargas se encuentra en detalle en la literatura correspondiente (79, 90).

Las sales de plomo disueltas colaboran con el proceso de lixiviación y precipitación; por esta razón, en muchas plantas de lixiviación de oro se las añade dosificadamente.

Si bien es evidente que la regeneración de la solución es posible, esta requiere de significativos recursos técnicos y de medidas de seguridad. Este proceso se aplica hasta el momento, sólo en plantas de gran escala.

Por los impactos ambientales graves, como se ve p.ej. en el caso de Portovelo-Zaruma, Ecuador, no es recomendable sustituir la amalgamación por la cianuración en la pequeña minería.

5.6.2. Flotación

En la flotación se aprovechan las diferentes características fisico-químicas de la superficie de los minerales para el proceso de separación: algunos minerales en una pulpa de grano fino se vuelven hidrófobos añ-

diéndoles reactivos (colectores, activadores). El aire inyectado al tanque (celda de flotación) que contiene la pulpa lleva las partículas hidrófobas a la superficie, donde flotan en forma de espuma, y entonces se retira. Gracias a las variaciones de pH de la pulpa y a los reactivos adicionados, se puede recuperar selectivamente diferentes minerales.

La flotación se utiliza muy poco en la minería aurífera para sólo recuperar oro libre, y sí más a menudo para recuperar sulfuros auríferos junto con el oro liberado ("bulk flotation"). Existen diferentes tipos de celdas de flotación en uso, en las que se combina la agitación de la pulpa y su aereamiento. **En varios casos, la flotación ha sido probada para separar el oro libre de concentrados de sulfuros, reemplazando la amalgamación** (91). Esto funciona solamente para un tamaño limitado de granos, debido a que el oro más grueso, por su masa, no flota tan fácilmente. También es difícil hacer flotar las partículas ultrafinas. Sin embargo, en un tamaño de grano apropiado (aproximadamente 100 a 20 μm), la separación del oro y sulfuros puede funcionar.

El uso de la flotación implica otros problemas ambientales, porque es necesario el uso de varios reactivos, especialmente cal, para el ajuste del pH, colectores (xantatos), espumantes y otros, como en el caso de una flotación selectiva de oro, donde se emplea cianuro o cromato para deprimir la pirita. Generalmente, las minas pequeñas no disponen de los conocimientos ni de los fondos de inversión necesarios para controlar eficientemente estos reactivos, que son después vaciados a los ríos. Además, el mismo proceso de flotación, por su complicado manejo (control de pH, dosificación de reactivos, tiempos de acondicionamiento, etc.), presupone un grado de conocimientos técnicos que rara vez se encuentra entre pequeños mineros (ver foto 10). Por esto, el uso de la flotación queda restringido (con algunos excepciones) a la minería industrial.

5.6.3. Otras alternativas técnicas

5.6.3.1. Separación magnética

En los yacimientos aluviales o yacimientos de oro oxidado (p.ej. la parte superficial de vetas auríferas sulfurosas) se puede aplicar la separación magnética de (una parte) la arena negra o algunos óxidos de hierro restantes. Los magnetos (imanes) fuertes y permanentes, como aquellos utilizados en altoparlantes, funcionan bien con magnetita. Estos imanes se colocan en un recipiente plástico o de cartón. Luego se pasa éste por enci-

ma de las partículas a separar. Así las partículas magnéticas son atraídas a la pared exterior del recipiente. Entonces el material magnético es llevado a otro recipiente diferente donde se retira el imán del recipiente, y las partículas recolectadas caen. Repetir este procedimiento varias veces puede mejorar significativamente la eficiencia de la separación magnética. Si todos los minerales acompañantes son altamente magnéticos (p.ej. magnetita), se puede conseguir, sin necesidad de amalgamación, un alto grado de concentrado de oro, el cual se puede vender o fundir directamente.

Existen también separadores magnéticos de alta intensidad, con los cuales se puede también separar ilmenita, hematita, granates, turmalina, etc. del oro. Estos aparatos no son baratos, y pueden ser aplicados en minas más grandes. Los desarrollos nuevos de imanes de alta intensidad (de tierras raras) y relativamente de bajo costo, resultarán posiblemente en pocos años en la construcción de separadores baratos de alta intensidad, que pueden también ser difundidos en la pequeña minería.

5.6.3.2. Separación por fundición ("Fundición directa")

Para evitar la amalgamación, en algunos casos se aplica la fundición directa de concentrados. La concentración necesaria del oro ($>30\%$ Au) se puede lograr usando métodos de concentración gravimétrica (mesas vibradoras, centrífugas), combinados a veces con la separación magnética. Para obtener un concentrado de muy alta ley deben admitirse pérdidas, especialmente en oro fino. Este es un problema menor en las operaciones en que el proceso de concentración gravimétrica es seguido por la cianuración de las colas.

Para separar el oro de los minerales pesados o para limpiar el oro obtenido en las operaciones de amalgamación/lixiviación, el concentrado se pone en un crisol, junto con bórax y otros agentes fluidificantes, y se calienta a 1200°C . Los óxidos tales como limonita, ilmenita, etc., se derriiten, produciendo un sistema sólido-líquido en el cual el oro líquido se reúne en el fondo del crisol debajo de la escoria. El oro puro se funde a 1063°C . Las siguientes sustancias se pueden utilizar como formadoras de escoria y fluidizantes: Cuarzo, vidrio, bórax, bióxido de manganeso, bicarbonato de sodio, potasa, cloruro de amonio, cianuro de potasio, salitre, fluoruro, y criolita. La elección del reactivo para inducir la formación de escoria y mejorar la fusibilidad depende de la composición mineralógica del concentrado. Incluso la elección del crisol (arcilla, grafito o cerámica) depende de la naturaleza y de la composición del concentrado.

Si el preconcentrado fundido contiene altos contenidos de componentes sulfurados, el resultado del proceso de fundición podría ser un sistema de tres componentes segregados: la escoria, una mata y el metal precioso. A veces una notable cantidad de oro se encuentra ligada a la mata, la cual deberá ser lixiviada o comercializada por separado.

Por lo general es aconsejable remoler la escoria, y someterla a una concentración gravimétrica. Frecuentemente considerables cantidades de oro se encuentran en forma de “burbujas” incrustadas en la misma.

5.6.3.3. Calcinación y aventamiento

Una técnica para la purificación de concentrado muy usada entre los mineros auríferos del África es una combinación de calcinación y aventamiento. El concentrado es calentado a una temperatura de por lo menos 600°C para desintegrar ciertos componentes minerales en las arenas de minerales pesados, como la hematita. Luego de enfriar el concentrado, las cenizas de los componentes indeseados pueden ser aventados fuera del mismo.

5.6.3.4. Separación por soplado

En muchas operaciones pequeñas los concentrados gravimétricos no representan grandes cantidades de material. En este caso, a veces los concentrados son secados y después los mineros separan los minerales pesados del oro soplando cuidadosamente^a. Dependiendo de la experiencia del operador, este método funciona también con oro bastante fino. La desventaja es, que la capacidad del proceso es mínima (92).

5.6.3.5. Trituración selectiva

Los pequeños mineros en Nueva Guinea utilizan un método para purificar el concentrado que utiliza la maleabilidad del oro. Los concentrados

a Este proceso es usado frecuentemente por los “barranqueros” en Bolivia. Otro proceso usado en la región del oro aluvial en Bolivia es “la superficie aspera inclinada”: mientras el oro aluvial de la zona es muy laminar, los minerales pesados acompañantes en el concentrado (ilmenita, granate, etc.) tienen una forma mas “de bolitas”. Deslizándolo el concentrado cuidadosamente por una superficie plana inclinada (preferiblemente de papel lija), y agitando la superficie con pequeños golpes con la mano, el oro laminar se queda atrapado en la superficie aspera, y los minerales pesados se deslizan y salen por el borde.

primero son tamizados para clasificarlos por tamaños. Entonces, cada tamaño de partícula es trabajado por separado con un martillo. Los golpes forjan las partículas de oro en láminas de un tamaño más grande, mientras que las otras partículas se rompen en pedazos más pequeños debido a su naturaleza quebradiza. Se vuelve a pasar el material por los mismos tamices y esto separa selectivamente el oro del concentrado pulverizado.

5.6.3.6. Selección balística

En este proceso se aprovecha la característica de rebote de las partículas dependiendo de su dureza o maleabilidad. Una partícula dura que choca contra una pared resistente rebota más lejos que una partícula blanda. Este principio se puede utilizar para la separación del oro que es relativamente blando, de otros minerales o metales.

Los pequeños mineros en las regiones de la costa pacífica colombiana separan los minerales de platino (PMGs) y el oro al poner el concentrado en una lámina esmaltada y golpeando ésta con el dedo. Al inclinar la lámina levemente, los PMGs, debido a que son más duros que el oro, saltan más alto en la lámina, y bajan lentamente a lo largo de la misma, separándose de esta manera del oro.

5.6.3.7. Aglomeración carbón - oro

La aglomeración carbón-oro es un proceso, que utiliza la característica de la superficie de las partículas de oro natural, de ser hidrófobo y oleófilo (en estado limpio). Su superficie por esto se puede cubrir fácilmente con una capa de aceite (p. ej. diesel) y aglomerarlo con otro material oleófilo, en este caso carbón, para luego separar ambos de los otros minerales por flotación. Para aumentar la hidrofobia de la superficie del oro, se utiliza colectores de flotación (xanthatos). El proceso, desarrollado por BP de Gran Bretaña, requiere operadores experimentados y todavía no se ha podido difundir en la pequeña minería (93).

5.6.3.8. Proceso oro - parafina

Un proceso nuevo y similar a la aglomeración oro-carbón es el proceso oro-parafina. Aquí también se utiliza la hidrofobia de la superficie del

oro, reforzado por colectores de flotación, para combinarlo con parafina y luego separarlo de los otros minerales. Este proceso por ser nuevo requiere todavía investigaciones para ser optimizado y aplicable en la práctica (94).

5.6.3.9. Disolución de sulfuros con ácido nítrico

Para evitar la amalgamación de un concentrado altamente enriquecido, cuando no se tiene las posibilidades de fundirlo directamente, en algunos casos, se utiliza ácido nítrico para disolver piritas y para así obtener el oro. Este proceso emite grandes cantidades de gas nitroso (especialmente en caso de utilizar ácido concentrado) y pone en peligro a los operadores (ver foto 42). Sin embargo, se podría construir filtros (de carbón vegetal, duchas con agua con cal) para filtrar los gases. El proceso funciona sólo con algunos sulfuros, no con arenas negras. Las soluciones residuales pueden contener altas concentraciones de metales pesados. Por eso, **el proceso no es recomendable.**

5.7. Selección de posibles soluciones

Para el éxito de un proyecto dedicado a transferencia de tecnologías es decisiva la selección correcta y apropiada de las soluciones técnicas que se aplicarán y difundirán. En muchos casos el grupo meta tiene ideas preconcebidas, preferencias respecto al personal de asesoramiento y/o idealizaciones de la contraparte, basadas en criterios subjetivos que a menudo son antagónicos.

Por otro lado, a través de la amplia experiencia en proyectos de desarrollo e implementación de tecnologías, se han podido identificar factores y criterios que determinan la aceptación y los efectos económicos y ambientales de la implementación de esas innovaciones técnicas.

Las técnicas a ser aplicadas no deben ser seleccionadas solamente por su aspecto técnico. Específicamente, los antecedentes socio-económicos y socio-culturales de los mineros, así como la infraestructura regional y local de la zona deben ser integradas a la planificación. Esto incluye particularmente las posibilidades para fabricar el equipo de producción localmente. La mayoría de los equipos requeridos para las técnicas empleadas en la pequeña minería deberían y pueden ser producidas en fábricas nacionales, regionales y locales (ver foto 58).

Los talleres o pequeños fabricantes de equipo pueden:

- entregar el producto rápidamente y a un menor costo;
- cumplir con las necesidades del cliente con exactitud y flexibilidad;
- reducir el tiempo necesario para el mantenimiento y las reparaciones.

Especialmente los talleres de pequeños y medianos fabricantes pueden obtener una ganancia de la producción de maquinaria y dar facilidades a la pequeña minería y como resultado diversificar las líneas de producción, especialmente cuando:

- los productos competitivos aún no existen en el mercado local, y
- si el mercado local para el equipo minero y de procesamiento, se encuentra protegido del mercado de importaciones, entre otros, por impuestos de importación, escasez de intercambio con el exterior, y altos costos de transporte.

Antes de elegir una técnica específica, la técnica tradicional de los pequeños mineros debe ser examinada cuidadosamente. **En cualquier caso, es importante considerar que en la mayoría de los casos es mejor optimizar una técnica conocida y mejorar su utilización que introducir una nueva.**

En general, los pequeños mineros son muy cerrados en cuanto a técnicas desconocidas por ellos. Un paquete óptimo de tecnología puede fracasar debido a que los mineros lo rechazan. Por lo tanto, un análisis de esta aceptación debe ser parte integral de cualquier planificación de un proyecto técnico. **La experiencia ha demostrado en muchas ocasiones que la mejora de tecnologías ya existentes y conocidas tiene una mayor oportunidad de ser aplicada y difundida que técnicas nuevas desconocidas para los mineros (95).**

Luego de seleccionar una técnica, ésta debe ser cuidadosamente examinada a través de extendidas pruebas de campo. Solamente cuando se tenga la absoluta seguridad de que la técnica a ser implementada es perfectamente operativa, se la debe presentar a los mineros. Al adelantar la implementación, podría ocurrir el rechazo de los mineros si la técnica no funciona perfectamente. De esta manera, se podría arruinar un largo proceso de convencimiento y un largo trabajo de concientización. Aquí, una vez más, es esencial proceder con calma y cautela al tratar con los pequeños mineros.

En base a estas consideraciones, que en muchos casos han influenciado inconscientemente en la actividad asesora y la toma de decisiones, se ha

elaborado una tabla con los criterios que hacen más transparente y objetiva la toma de decisiones cuando se trata de encontrar soluciones técnicas apropiadas para proyectos minero-ambientales. Esta tabla se presenta a continuación (Tabla 19).

TABLA 19
 CRITERIOS PARA PONDERAR LAS PROPUESTAS DE LAS SOLUCIONES TÉCNICAS

FACTORES	CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNA SOLUCIÓN TÉCNICA
Factores sociales y culturales	• es útil para los mineros • es aceptada y aprobada por los mineros • tradición en la aplicación de este componente en el país (p.ej en la minería industrial) • tradición en la utilización de este equipo por parte de los pequeños mineros • facilita el trabajo • posibilidad de visualizar el proceso, (visibilidad, control) • es comprensible (técnica y organizativamente) • personal operativo está disponible (en calidad y cantidad) • seguridad en el trabajo • el equipo no debe interferir con costumbres, supersticiones o creencias del grupo meta • el proceso nuevo no debe requerir cambios organizativos/estructurales sustanciales (de jerarquía, responsabilidades, etc.)
Factores técnico-económicos	• mayor rendimiento • mayor recuperación • bajos costos de inversión • bajos costos de operación • los equipos individuales deben ser compatibles entre sí y con los equipos existentes, que se siguen utilizando • las soluciones se deben poder integrar al proceso actual • disponibilidad en el mercado de equipo usado (de segunda mano) • es posible su producción local • de fácil manejo y mantenimiento • adecuado para las fuentes de energía disponibles • larga vida/duración
Factores de relevancia ambiental	• menor impacto ambiental • alto grado de seguridad laboral • en lo posible, integrado al proceso, no "end of pipe" • rendimiento ambiental mejorado debe lograrse con poco trabajo y a bajo costo • la aplicación de la solución debe hacer posible que se alcancen estándares ambientales nacionales • la aplicación de la solución debe tener como efecto para las empresas su legalización o la obtención de la licencia ambiental • menores costos ambientales posteriores
Factores relacionados con la estrategia del proyecto	• es necesario considerar una solución integrada (protección del medio ambiente, producción, salud, energía, etc.) • la solución contribuye al desarrollo equilibrado de hombres y mujeres y está concordante con la visión de género del proyecto • la implementación de la solución debe ser acompañada por capacitación del grupo meta • debe ser posible realizar rápidamente los ensayos/experimentos y éstos deben generar decisiones • el grupo meta debe participar en los procesos de elección, experimentación y adaptación de la solución • la solución debe tener la posibilidad de divulgación en la zona del proyecto • los mineros previamente deben aprobar el concepto de la solución • la solución debe ser compatible con las posibilidades de financiamiento

Se sobreentiende que las soluciones técnicas nunca podrán llenar simultáneamente todos los requisitos. Lo importante es que se incluyan criterios técnicos, sociales, económicos, ambientales, culturales y estratégicos en la evaluación. Por esto, se deben escoger procesos con mayor posibilidad de éxito.

La pequeña minería generalmente enfrenta una situación en la que la técnica y el problema medioambiental están caracterizados por un equipamiento deficiente, por déficits administrativos y organizativos, y por un personal con una formación deficiente. En esta situación, pequeños cambios en la organización y en la técnica de procesamiento pueden beneficiar altamente el rendimiento medioambiental de las empresas. Esto se debe a la situación precaria del medio ambiente y al potencial que puede ser aprovechado por medio de simples innovaciones administrativas, organizativas y técnicas. Partiendo de la poca experiencia de trasfondo y los principios innovadores administrativos para la pequeña minería respecto al medio ambiente, este aporte puede ser considerado como tarea de los proyectos de cooperación internacional. Cuanto más grande la empresa, tanto mayores los gastos invertidos en las medidas ambientales y cuanto más calificado el personal de la empresa, tanto más diferenciadas y especializadas las innovaciones necesarias para aumentar el rendimiento en relación al medio ambiente y tanto mayores serán los gastos materiales y financieros para lograr esta mejora. De esta manera ya se entra en una responsabilidad que debe ser considerada parte de la empresa privada y que no se deberá incluir en proyectos de la cooperación internacional.



25. Preparación
de planchas
amalgamadoras
(Nariño, Colombia)



26. Harina de mercurio (escala: papel milimetrado)



27. Campana para la quema de amalgama y fundición de oro dentro de una casa de compra de oro (Puerto Maldonado, Perú)



28. Canelón (canaleta con cubierta de bayetas) (Zaruma, Ecuador)



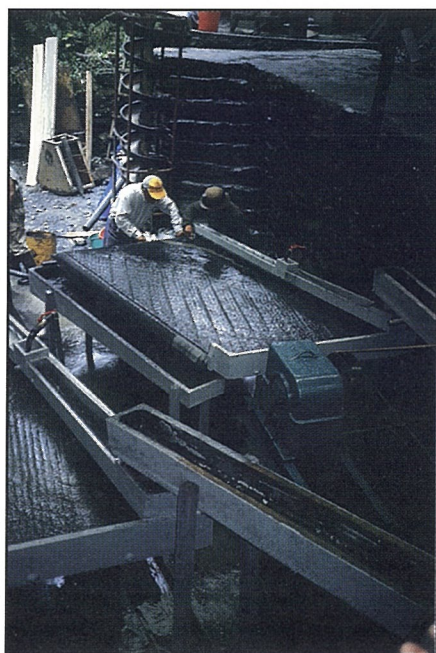
29. Caixa (canaleta) experimental; alta turbulencia: tradicional, baja turbulencia: modificada (Piririma, Tapajós, Brasil)



30. Cobrinha (canaleta pequena para enriquecimiento de preconcentrados) (Piririma, Tapajós, Brasil)



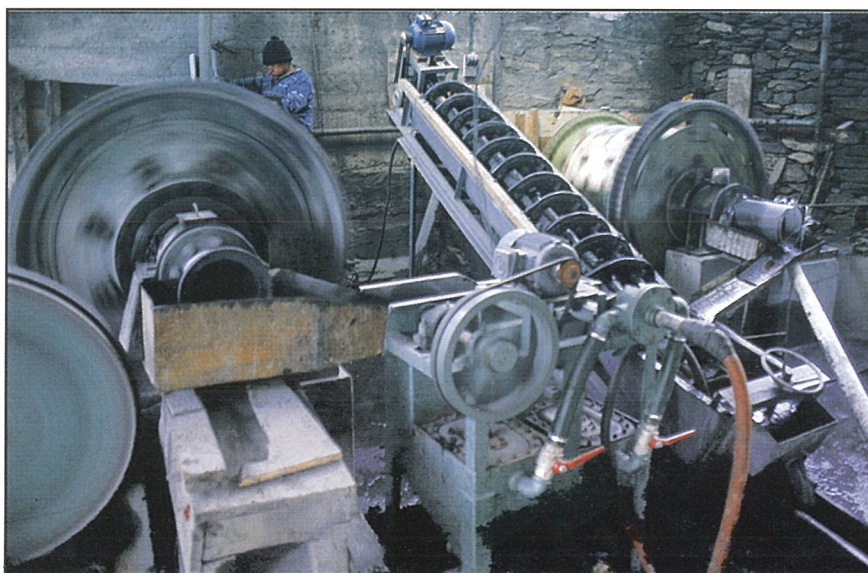
31. Canaletas con diferentes pisos (alfombras, metal expandido) para diferentes tamaños de carga clasificados por un tromel en la salidad de un molino a bolas (Coop. La Libertad, Bolivia)



32. Mesa concentradora
(Coop. Cotapata, Bolivia)



33. Concentrador espiral
con su producción de
dos semanas de piritas
auríferas, que antes se
descargó junto con las
colas al río
(Coop. Kantuta, Bolivia)



34. Jig tipo "Denver Mineral Jig" en un circuito de molienda (Coop. La Suerte, Yani, Bolivia)



35. Tambor amalgamador
(Coop. Virgen del Rosario, Bolivia)



36. Tambor amalgamador con rueda de agua (Mina Los Guavos, Nariño, Colombia)

6

Organización de proyectos: aspectos metodológicos

El desarrollo de la pequeña minería hacia una minería que contribuya al desarrollo sostenible, partiendo de una situación complicada, con respecto a las posibilidades técnicas, organizativas, administrativas, sociales y sobre todo ambientales, es un posible campo para proyectos de la cooperación internacional. Estos proyectos tienen la tarea de desarrollar enfoques innovadores y multidisciplinarios y adaptarlos a la situación local, de tal forma que éstos más adelante sean estables y capaces de cumplir con su objetivo.

El proyecto es una acción temporalmente limitada, en la cual se realizan tareas con el equipo de trabajo para luego cumplir con un objetivo planificado. Cuando se ha logrado su objetivo, el proyecto debe terminar. Los trabajos y actividades dentro del proyecto a veces no corresponden a las actividades estándar de las contrapartes. Durante el proyecto, las organizaciones o instituciones involucradas se capacitan en el tema. Las tareas desarrolladas al margen del proyecto –por ejemplo, el fomento de una pequeña minería sostenible– serán luego parte del trabajo de la institución ya existente o de una institución fundada especialmente para este objetivo.

Por el carácter innovador de este tipo de proyectos, en los siguientes capítulos se darán algunos consejos en cuanto a los aspectos metodológicos y organizativos, que influyen de igual manera que el conocimiento técnico especializado en las probabilidades de éxito del proyecto.

6.1. Fase de planificación/preparación

Sobre todo en proyectos de cooperación internacional en el sentido estricto, o sea, con aquellos que se resuelven a nivel gubernamental mediante acuerdo internacional, es indispensable elaborar una minuciosa planificación, al igual que es necesario evaluar todos los antecedentes, riesgos y supuestos que se toman como base. **Sin embargo, más adelante, durante el curso del proyecto, existe la posibilidad (y muchas veces la necesi-**

dad) de variar y adecuar la estrategia del mismo. Por este motivo, frecuentemente se establece una fase de orientación, para poder reconocer y apreciar correctamente diversos factores, tales como riesgos políticos, duplicidad y conflictos con otras estrategias o conflictos de intereses dentro del grupo meta. Una fase de orientación (normalmente de duración corta), permite a la vez una evaluación preliminar bastante amplia del proyecto, así como la puesta en marcha temprana de aquellos componentes del proyecto que no son tan susceptibles a cambios de estrategias, lo que ahorra tiempo y recursos financieros.

6.1.1. Métodos de planificación

Al planificar proyectos de cooperación internacional, la participación de los mediadores, del grupo meta y de los beneficiarios es de primordial importancia. Sólo así puede resultar un proyecto “orientado hacia la demanda”. Enfoques “orientados hacia la oferta”, esto es la ejecución de paquetes de proyectos estandarizados o planificados “sobre el escritorio”, no han producido en el pasado los resultados esperados. Por esta razón, las organizaciones donantes y los ejecutores de los proyectos han desarrollado instrumentos que facilitan la planificación participativa de los proyectos. Como ejemplo se menciona aquí la planificación orientada hacia objetivos (“ZOPP”) (96). En ésta se llevan a cabo los siguientes pasos:

- un análisis de personas e instituciones involucradas
- un análisis de problemas
- la definición de los objetivos
- una comparación de soluciones alternativas para el proyecto, y finalmente
- la elaboración de una matriz general de la planificación del proyecto.

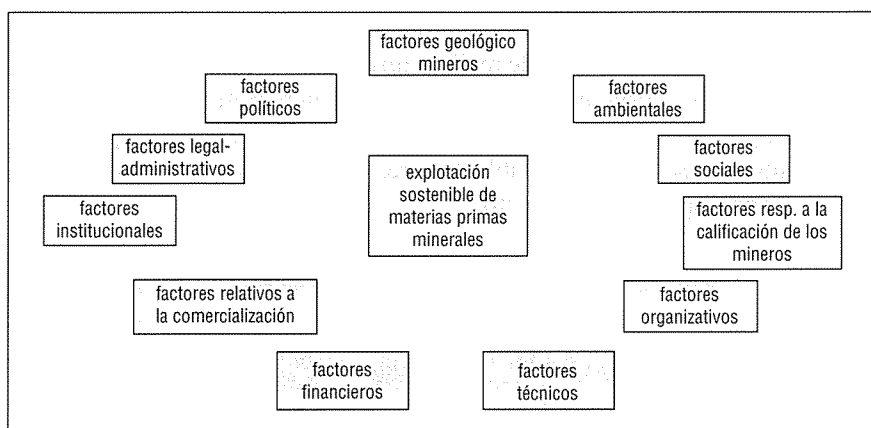
La presentación detallada de estos instrumentos de planificación se sale de los márgenes de esta publicación, pero además de la literatura estándar existente sobre el tema, la COSUDE publicó, como ayuda de trabajo, un resumen comparativo de instrumentos de planificación llamado “Planificar la cooperación” (97).

6.1.2. Condiciones generales importantes

Los proyectos de cooperación internacional se entienden como catalizadores para iniciar y reforzar procesos deseables y relevantes para el

desarrollo en los respectivos países. La minería a ser fomentada presenta el problema de encontrarse rodeada de una compleja red de gran diversidad de factores interrelacionados, que tienen su influencia sobre la producción de materias primas. En el siguiente cuadro (Ilustración 7) se presenta un resumen de los factores importantes para desarrollar un proyecto:

ILUSTRACIÓN 7
CONDICIONES GENERALES DE IMPORTANCIA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS
PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS



Para hacer posible la implementación exitosa de proyectos ambientales en la pequeña minería, se requiere, en todo caso, de **enfoques básicos integrados, interdisciplinarios** y que abarquen todos los sectores involucrados. Estrategias unidimensionales, por ejemplo aquellas que se limitan a solucionar problemas técnicos, o legal-administrativos, o sociales, no podrán generar una minería ambientalmente compatible.

Mientras que en la minería a gran escala –favorecida por la actividad internacional de las empresas mineras– se importan sistemas de manejo ambiental, estándares de políticas ambientales, etc. (con lo cual, consecuentemente, se llega a condiciones generales armoniosas y homogéneas para las leyes mineras y ambientales), en la pequeña minería se siguen presentando problemas fuertemente determinados por la situación específica de cada país. Esto se debe a que, por sus distintas condiciones generales a nivel político, institucional, legal y social, cada país tiene políticas diferentes y un manejo diferente del sector informal respectivo. Y por esto mismo es imposible ofrecer estándares tipo “receta de cocina” para la planifica-

ción y ejecución de proyectos de protección ambiental a nivel empresarial en el sector informal, sea en la pequeña minería o para la pequeña industria.

6.1.3. Áreas de intervención

Por su naturaleza, las posibilidades de influir en la solución de problemas mediante proyectos de cooperación internacional son muy variadas y a menudo bastante limitadas. Por otra parte, condiciones generales desfavorables pueden ser obstáculos para el desenvolvimiento del proyecto o incluso factores que determinan el abandono prematuro de un proyecto (killer factor). Por eso, es indispensable realizar un detallado análisis de estos factores determinantes desde el mismo comienzo de la planificación, al discutir las estrategias de desarrollo y las medidas del proyecto. Las tablas que aparecen a continuación (Tabla 20, Tabla 21) presentan algunos ejemplos de posibles componentes de los proyectos:

TABLA 20
POSIBLES COMPONENTES DE UN PROYECTO MINERO-AMBIENTAL (98)

FACTORES	INFLUENCIABLES POSITIVAMENTE MEDIANTE INTERVENCIÓN
Geológicos	• recopilación de estudios e informaciones • prospección y exploración de yacimientos • poner a disposición informaciones sobre yacimientos y resultados de prospecciones
Ambiental	• empleo de auditajes, sistemas de gestión ambiental • formación y capacitación en el área de estudios ambientales • establecer laboratorios adecuados • mitigar la contaminación
Sociales	• asegurar puestos de trabajo • incrementar la seguridad laboral • concertación entre los diversos grupos de intereses (pequeña minería vs. minería a gran escala; minería vs. población local, etc.) • desarrollo equilibrado entre hombres y mujeres (aspectos de género)
Calificación de personal	• incrementar el grado educacional mediante formación y capacitación a todo nivel (transferencia de "know-how"), programas de entrenamiento en la práctica ("training on the job"), formación profesional dual (por lo menos en la minería mediana y grande), escuelas técnicas, cooperación universitaria, etc.)
Organizativos	• introducir mecanismos de organización administrativos • implementar intenciones de privatización • fomento de cooperativas, asociaciones, sindicatos, cámaras, federaciones, asociaciones, etc. • apoyo en la formalización y legalización de empresas mineras informales
Técnicos	• transferencia de tecnología • mejoramiento técnico de las empresas • apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico • crear capacidades locales para producción y servicio de equipo minero

FACTORES	INFLUENCIABLES POSITIVAMENTE MEDIANTE INTERVENCIÓN
Financieros	• poner a disposición instrumentos adecuados de financiamiento (bancos de desarrollo, cooperativas de crédito, "pools" para leasing de equipo, etc.) • incrementar la rentabilidad de las empresas existentes mediante asesoramiento organizativo-administrativo y de gestión
Relativos a mercadeo	• incrementar los precios de venta (p.ej. mediante creación de competencia entre los intermediarios) • aumentar las exportaciones • realizar análisis de mercado
Institucionales	• crear y fortalecer instituciones de control y fomento • coordinación interinstitucional • desarrollar una oferta de servicios orientada hacia la demanda
Legal-administrativos	• incentivar un sistema legal justo y transparente (leyes mineras, leyes ambientales, leyes económicas y fiscales, etc.), así como pautas y reglas para la implementación apropiada • acelerar los procesos administrativos (concesión de títulos, permisos para las empresas, aprobación de EIAs, etc.) • crear posibilidades de legalización para el sector informal
Políticos	• incentivar adecuadas políticas estructurales, políticas mineras, estrategias de fomento, planes nacionales y regionales de desarrollo • apoyar el incremento del clima de inversión

TABLA 21
 ESQUEMA DE LOS POSIBLES MEDIOS DISPONIBLES PARA FOMENTAR INNOVACIONES AMBIENTALES
 EN LA PEQUEÑA MINERÍA

TIPO DE INCENTIVO	AREA	INSTRUMENTO
Incetivos directos	Financiera	• créditos para inversiones (minero)-ambientales • fondos rotativos para inversiones ambientales • pre-financiamiento de inversiones ambientales • cobertura de gastos para inversiones ambientales
	Material	• puesta a disposición de infraestructura • alquiler o leasing de equipos • programas de "alimentos por trabajo" (recibir comida a cambio del trabajo ejecutado)
Incetivos indirectos	Fiscalización/ impuestos	• reducciones y alivios de impuestos y regalías • exención de tasas para licencias y concesiones legal y administrativa
	Legal y administrativa	• alivio de los procedimientos administrativos para las pequeñas minas (p.ej. estudios de impacto ambiental) • estimular la participación de inversionistas privados
	Apoyo profesional	• asistencia técnica • formación y capacitación • apoyar las estructuras institucionales y de organización • apoyo en el mercadeo y la comercialización • ensayos piloto de tecnologías ambientales • abastecimiento centralizado para materiales de operación

Los instrumentos en negrillas son los más recomendables.

No recomendables, especialmente viendo la sostenibilidad de las medidas, son:

- precio subsidiado de compra del producto
- subsidios operacionales para inversiones ambientales
- materiales de operación gratis o subsidiados
- equipo de seguridad gratis o subsidiado

6.1.4. Grupo meta

Es de suma importancia dirigir el proyecto a **grupos meta claramente definidos**. Para un proyecto ambiental en la pequeña minería se tiene normalmente los dos siguientes grupos meta:

- **Los pequeños mineros:** beneficiarios directos del proyecto. La ventaja es el contacto directo, sin intermediarios con este grupo meta. Por otro lado, el trabajo exclusivo con los mineros presenta peligros en cuanto a la sostenibilidad del proyecto una vez finalizado el mismo, cuando no se habrá creado o fortalecido una estructura que asuma las obligaciones creadas por el proyecto.
- **La población afectada por la contaminación minera:** normalmente ganaderos, agricultores o pescadores que sufren de la contaminación que producen los pequeños mineros. Con la implementación de medidas de mitigación de la contaminación estos grupos se benefician con una mejor calidad de vida por menor contaminación.

Este segundo grupo meta es muy importante para un proyecto por su poder de realizar **control social** contra la contaminación, que normalmente es mucho más eficiente que el control legal por parte del gobierno. Sin embargo, existen minas en áreas tan remotas (p.ej. en zonas desérticas o bosques tropicales), donde no existe un contacto directo entre los afectados río abajo y los mineros. El control social deseado en estos casos no puede realizarse fácilmente.

Además, es posible en algunos casos implementar medidas ambientales (p.ej. estanques de sedimentación para lodos sulfurosos antes de los canales de riego) directamente con este grupo. Esto es interesante p. ej. si los ríos están contaminados por sulfuros emitidos por minas existentes o paralizadas. La implementación de medidas para recuperar los sulfuros en las minas en operación evita nueva contaminación, pero no puede eliminar los sulfuros ya existentes en los ríos.

6.1.5. Instituciones involucradas

En el ámbito de los proyectos de cooperación internacional en el sector de manejo ambiental en la pequeña minería, es conveniente desarrollar las actividades en tres niveles: macro, meso y micro. Esto es aconsejable, ya que en todo caso se debe intentar asegurar el trabajo directo con los causantes de los problemas ambientales (micro) y mediante una institución del nivel meso y con vistas a la sostenibilidad. Se tratará de sensibilizar al gobierno (nivel macro) con los problemas del sector, para prestar asesoramiento respecto a posibles y razonables adaptaciones a nivel legislativo y sobre los enfoques de la política gubernamental del sector.

El fomento de la capacidad de rendimiento de las organizaciones contrapartes, con las que se ejecuta proyectos, es una función clave. Se debe apoyar principalmente la cooperación complementaria entre organizaciones estatales y privadas. Lo óptimo en muchos casos es una combinación de contrapartes estatales y privadas según las tareas.

Un proyecto debe adaptarse a las posibilidades espaciales, institucionales y financieras, y apuntar hacia efectos de sistematización. En lo posible, la cooperación en el nivel micro será interconectada desde el inicio con el nivel meso. Al nivel macro, se busca la cooperación en alianza con otras agencias de cooperación al desarrollo, cuando dispone de experiencias sectoriales específicas. En los sectores estratégicos se participa en el diálogo político con el Estado, con organizaciones de la sociedad civil y con la economía privada, y fomenta la toma consensual de decisiones sobre condiciones marco favorables para el desarrollo.

Por lo tanto, sería conveniente que el proyecto se planifique de tal forma que pueda influenciar en los tres niveles de intervención. Los diferentes grupos e instituciones de estos niveles se presentan en la Tabla 22.

TABLA 22
NIVELES DE INTERVENCIÓN PARA LOS PROYECTOS EN EL ÁREA DE MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

NIVEL MACRO (ESTADO, INSTITUCIONES ESTATALES)

- Ministerio del medio ambiente
- Ministerio de Minería
- Institutos estatales ambientales
- Institutos estatales de minería
- Bancos de desarrollo estatales
- Otros proyectos de la cooperación internacional
- Instituciones suprarregionales
- Gobiernos departamentales o provinciales
- Gobiernos municipales
- Instituciones de desarrollo

NIVEL MESO (ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES, GREMIALES)

- Cámaras de minería, otras organizaciones gremiales de la pequeña minería
- Sindicatos
- Instituciones de entrenamiento/formación/capacitación
- Universidades
- Instituciones de investigación y desarrollo
- ONGs y fundaciones
- Iniciativas comunales
- Políticos locales
- Institutos privados de financiamiento

NIVEL MICRO (ECONOMÍA PRIVADA)

- Empresas, cooperativas, sociedades mineras
- Población afectada
- Empresas que ofrecen servicios
- Consultoras
- Bancos

Una decisión adecuada para asegurar un control de ejecución y una coordinación interinstitucional resultó ser la constitución de dos organismos, es decir, una junta directiva (o directorio) y un consejo consultivo técnico (véase también capítulo 7.1).

Aparte de la persona que representa al ejecutor del proyecto, la **junta directiva** se compone de representantes de las instituciones gubernamentales correspondientes, así como de un representante del financiador y de la sociedad civil. La junta directiva decide sobre la política global del proyecto, así como sobre las asignaciones de los recursos financieros.

El **consejo consultivo técnico** se compone de todos los grupos relevantes e interdisciplinarios que se ocupan de la temática, instituciones, entidades públicas y personas individuales. El consejo consultivo, contrariamente a la junta directiva, es una agrupación abierta y de asesoría. El espectro de instituciones importantes en este sector es muy grande, como se puede apreciar en la tabla anterior. La función

del consejo consultivo técnico es el intercambio de informaciones en un campo especializado y asesoría a la ejecución del proyecto.

Con aquellas instituciones que no están incluidas formalmente en el proyecto, se deberá acordar coordinación a otro nivel.

Especialmente en el área innovador del manejo ambiental y de desarrollo de tecnologías ambientales, es aconsejable considerar en la ejecución del proyecto a instituciones dedicadas a la enseñanza e investigación.

Aparte de las instituciones y grupos aquí mencionados, es aconsejable mantener un intercambio intensivo con otros proyectos de la misma índole también en otros países, con otras cooperaciones y con redes de temática relevante. De esta manera, en el caso de la problemática del mercurio en la pequeña minería, existe la posibilidad de coordinar varios o todos los proyectos en, por ejemplo, todos los estados limítrofes del Amazonas.

La selección de contrapartes o colaboradores a nivel meso, en muchas de las veces, es una tarea que requiere de alta sensibilidad. Frecuentemente, estas instituciones han desarrollado ideas y conceptos innovativos de intervención y presentan los mismos en forma de proyectos a las agencias de cooperación o en forma de subproyectos o componentes a proyectos en ejecución. Frente a estas propuestas, se debe evaluar por una parte la conveniencia y factibilidad de la propuesta, y por otro lado la capacidad de ejecución y la imagen de la institución solicitante.

Si la propuesta es conveniente y factible, y además está presentada por una institución que cumple los criterios de una institución sostenible (ver subtítulo 6.2.5), el riesgo de su implementación es mínimo. Posibles conflictos ocurren en casos en que la propuesta requiere de mayores ajustes o cuando la institución solicitante no cumple los criterios de sostenibilidad.

- El ajuste de la propuesta a las exigencias (formales y de contenido) para proyectos de cooperación puede ser visto por la institución solicitante como una «distorsión de su idea», cuando no se observan procedimientos claros y participativos de planificación (ver subtítulo 6.2.6).
- Más delicado todavía es el caso de implementación de propuestas e ideas convenientes y factibles para solucionar problemas del grupo meta, presentadas por parte de instituciones que **no satisfacen** los requerimientos de sostenibilidad institucional:
 - La no-implementación de la propuesta perjudica al grupo meta;
 - La implementación por parte de la institución solicitante conlleva riesgos altos; y

- la implementación por parte de otras instituciones va en contra de principios de ética profesional y derechos de propiedad intelectual.

La decisión a tomar en estas circunstancias debe ser evaluada profundamente, para evitar resentimientos profundos, creación de enemigos, y perjuicios para la imagen del proyecto.

6.2. Fase de ejecución

6.2.1. Concientización

Como ya hemos mencionado, antes de cualquier implementación técnica es necesario que los mineros sean conscientes de la problemática ambiental y que exista un ambiente de confianza entre los mineros y el proyecto. Una forma eficiente de concientización puede darse a través de seminarios y talleres para poder lograr el contacto directo entre los responsables del proyecto y el grupo meta (ver foto 56). Complementariamente a estos eventos de información y concientización, la elaboración y difusión de videos didácticos contribuirá a que sea más fácil “llevarse a casa” las informaciones presentadas. Así también, éstas se van difundiendo entre sus colegas y la familia cuando los participantes pueden prestar los videos y los vuelven a presentar en sus casas (se puede suponer que en la mayoría de las empresas mineras hay una o más personas que tienen una reproductora de video).

Las experiencias ponen en evidencia que algunas veces los participantes de los seminarios prefieren guardar las informaciones o bien no encuentran necesario divulgarlas; también, ocurre que no saben transmitir las o solamente las transmiten en parte. Parece oportuna la elaboración de folletos, afiches, posters y calendarios informativos (apropiadamente redactados, tomando en cuenta la poca costumbre de lectura).

Sin duda, la manera más eficaz de facilitar conocimientos se basa en ejemplos prácticos y tangibles. Sólo así se divulgan las técnicas y procedimientos en la pequeña minería. Los seminarios, talleres, folletos, videos o libros preparan el camino, despiertan el interés y hacen surgir preguntas; los pequeños mineros encuentran luego las respuestas respectivas en la demostración práctica, que siempre es una parte de los seminarios ejecutados (ver foto 57), pero que se ve mejor en ejemplos instalados en las mismas minas modelos.

Junto a la concientización a nivel de los causantes de los problemas ambientales, se requiere también un amplio trabajo en todos los demás niveles, como son:

- Los miembros de la familia (que en parte tienen funciones importantes en la toma de decisiones familiares; en muchos casos requieren de ofertas diferenciadas para hombres y mujeres);
- La población en los alrededores del proyecto, que a menudo está afectada por la contaminación del medio ambiente^a;
- Los órganos gubernamentales a diferentes niveles, empezando por las unidades administrativas descentralizadas en el área rural, hasta los órganos del gobierno central;
- la población en general, a través de los medios de comunicación (prensa, radio y televisión).

La concientización de la población genera, indirectamente, una obligación para los mineros, debido a que los afectados exigirán, luego, de la minería un manejo ambiental adecuado y no perjudicial. La concientización de autoridades tiene la misma finalidad, con la diferencia que el poder legal-administrativo de ellos permite en un alto grado el fortalecimiento del componente de obligación.

Los medios para este tipo de concientización son variados y tienen que adecuarse a las necesidades y conocimientos previos de los grupos meta. En la mayoría de los grupos meta se constata un desconocimiento absoluto de la situación y de la problemática ambiental. Se observa una subestimación notoria al igual que una sobreestimación de la problemática real. Conocer la situación real es posible durante visitas a la región y con la presentación de datos bien fundamentados^b.

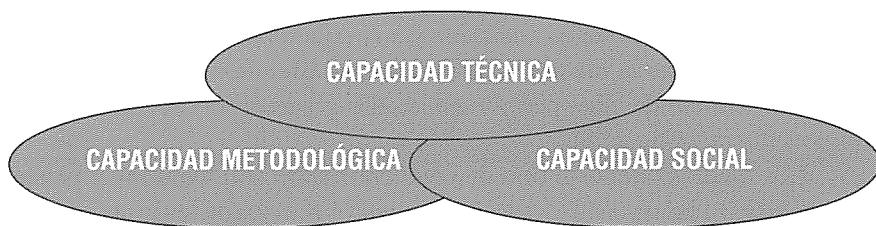
-
- a En los casos en los cuales los impuestos estatales o las leyes del medio ambiente no puedan ser puestos en práctica por falta de conocimientos o de control, la población local, como agrupación de intereses comunes, puede presionar en gran medida a los causantes de los problemas ambientales (control social), en especial cuando existen conflictos de uso común, como por ejemplo el agua para fines de irrigación o consumo humano. Sin embargo, al proceder de esta manera puede surgir desconfianza con los mineros, por lo cual hay que actuar con mucha sensibilidad.
- b Esto tampoco deberá dar lugar a que una medida planificada como proyecto se sobrecargue con análisis medioambientales ya que, por experiencia, en los procesos generalmente se conoce tanto a los componentes contaminadores y las cantidades de carga como a los iniciadores. Evidentemente, esto no debería excluir un monitoreo de los avances logrados durante el proyecto.

En muchos casos, algunas formas de presentación, como participación en conferencias y seminarios, también pueden servir como medios adecuados para lograr una concientización.

6.2.2 Capacitación

Uno de los aspectos de más peso, en la cooperación enfocada a la transferencia de tecnologías ambientalmente sanas, es la formación y capacitación de personal de contraparte nacional y del grupo meta^a (Tabla 23). A diferencia de los conceptos tradicionales de formación profesional, no se trata de profundizar tan sólo a nivel técnico, sino de cubrir y conectar simultáneamente tres áreas (Ilustración 8):

ILUSTRACIÓN 8
LOS TRES ASPECTOS IMPORTANTES DE LA CAPACITACIÓN



- a En el campo de la formación y educación, el punto 34.3 de la agenda 21 ofrece el marco predominante:

La formación/educación, que incluye una formación formal, la creación de una conciencia colectiva y una formación profesional, pueden verse como un proceso que contribuye a que las personas, como individuos y como sociedad, puedan aprovechar todo su potencial.

La formación es un requisito indispensable para el fomento de un desarrollo sostenible, para mejorar la capacidad de las personas, y para enfrentar la problemática del desarrollo y del medio ambiente. Mientras que la educación básica provee los fundamentos para una formación orientada hacia la problemática ambiental y el desarrollo, ésta tiene que ser considerada como parte fundamental del aprendizaje. Tanto la formación formal como la no formal son requisitos indispensables para una concientización en las personas; para que estas puedan sopesar sus intereses con respecto al desarrollo sostenible y puedan, finalmente, actuar. También son de vital importancia para la creación de una conciencia ecológica y moral, así como para los valores y opiniones, las capacidades y formas de comportamiento que puedan armonizar con el desarrollo sostenible, además para que la opinión pública tenga una participación y toma de decisiones efectiva.

Se entiende como capacidad metodológica a la totalidad de las habilidades necesarias para la solución de problemas, para la búsqueda de conocimientos, para la implementación de conceptos metódicos, etc. Y bajo capacidades sociales, a la totalidad de las habilidades que se requieren para cooperar y participar conjuntamente en un proyecto.

TABLA 23
OBJETIVOS DE LA CAPACITACIÓN

COMPETENCIA TÉCNICA ECONÓMICA AMBIENTAL	COMPETENCIA EN MÉTODOS	COMPETENCIA SOCIAL
• buenos conocimientos técnicos interdisciplinarios • capacidad de estimar las consecuencias sociales y económicas de las acciones • capacidad para estimar las consecuencias ecológicas de las acciones • capacidad para cuantificar las implicaciones económicas de las acciones (determinación de los costos, análisis de la rentabilidad, estudios de factibilidad, etc.)	• facultad mental analítica • capacidad para realizar investigaciones y elaborar informaciones de fuentes primarias y secundarias • capacidad para adquirir y asimilar independientemente conocimientos nuevos • capacidad de asesoramiento, instrucción, entrenamiento y formación profesional • capacidad de poner prioridades • capacidad para manejar tareas (estructuración, etc.) • capacidad para manejar recursos (tiempo, personal, fondos) • capacidad para trabajar en redes y de inclusión y participación de otros grupos • capacidad para valorar las posibilidades de realización y del desarrollo futuro • conocimiento de métodos para el desarrollo de estrategias, instrumentos de planificación, ejecución, dirección, valoración (monitoreo y evaluación) y ajuste de proyectos • conocimiento de métodos de presentación, motivación, concientización, moderación, comunicación y transferencia de conocimientos • manejo y ajuste de métodos instrumentalizados a las necesidades actuales	• carácter y modales sociales y compatibles (franqueza, amabilidad, tolerancia, independencia, integridad, lealtad, confiabilidad, autoridad natural, adaptabilidad, autoconciencia natural, optimismo, disposición de aprender, orientación hacia resultados) • capacidad de comunicación • capacidad de aguantar conflictos y críticas • capacidad para convencer y llegar a un consenso • sensibilidad y comprensión para las condiciones culturales y sociales • disposición al rendimiento y tensión • responsabilidad e interés en asumir responsabilidad • capacidad de cooperación • capacidad para trabajar en equipo • flexibilidad, creatividad, espíritu innovador y de riesgo • interés en mejoramientos continuados, orientado hacia el futuro

6.2.3. Difusión e implementación de soluciones técnico-ambientales

La difusión e implementación de medidas técnico-ambientales, es el punto clave de un proyecto que tiene como objetivo la disminución de la contaminación ambiental. Sólo aquí se puede ver si las medidas de concientización y capacitación han sido apropiadas y eficientes para abrir el camino. **Un proyecto es exitoso sólo si ha logrado mitigar los impactos ambientales sustancialmente, lo cual se logrará vía una implementación y difusión masiva de cambios tecnológicos.**

Un proyecto puede concentrar sus actividades en una región (para mitigar los impactos ambientales causados por la pequeña minería en un entorno regional) o en un impacto especial (p.ej. para evitar la emisión de vapor de mercurio en la quema de amalgama). Ya se ha mencionado que el enfoque en sólo un determinado problema ambiental y su aislamiento de problemas colindantes es poco recomendable, puesto que se tiene que buscar soluciones integrales.

Sin embargo, el desarrollo de sistemas completos e integrados es complejo, requiere más personal (que además tiene que ser más capacitado), más dinero y consume mucho tiempo. Por esto, para entrar, ganar confianza y conocer a los clientes es a veces conveniente empezar con un solo problema individual (p.ej. que tenga una alta probabilidad de aceptación y difusión), para luego complementarlo y relacionarlo con otros.

Las situaciones que se encuentran en las zonas mineras pueden diferenciarse por las siguientes características principales (condiciones locales) mencionados en la Tabla 24:

TABLA 24
CONDICIONES LOCALES EN ÁREAS MINERAS

Tipo A:	Todas las minas en el área del proyecto trabajan yacimientos similares , con tecnología, organización y tamaño de operación iguales o muy parecidas , con impactos ambientales similares (p.ej. San Simón, Bolivia, Portovelo-Zaruma, Ecuador)
Tipo B:	En el área del proyecto existe un tipo de yacimiento , pero las operaciones difieren mucho en tecnología, organización, tamaño y en sus impactos ambientales (magnitud y/o tipo) (p.ej. río Conzata, Bolivia)
Tipo C:	En el área del proyecto existen varios tipos de yacimientos (p.ej.: primario, aluvial en terrazas, aluvial en lecho de río, etc.), pero en cada tipo de yacimiento la tecnología, organización y tamaño de las operaciones son iguales o muy parecidas; y en cada grupo los impactos ambientales son similares (p. ej. Tapajós, Brasil)
Tipo D:	En el área del proyecto existen varios tipos de yacimientos (p.ej. primario, aluvial en terrazas, aluvial en lecho de río, etc.), y en cada tipo de yacimiento, las operaciones difieren mucho en tecnología, organización y tamaño, como en sus impactos ambientales (p.ej. Departamento de La Paz, Bolivia)

La complejidad de los problemas y sus soluciones aumenta del Tipo A hasta el D, así como varía la idiosincrasia de los mineros.

Para la planificación de la implementación de medidas técnico-ambientales es importante determinar el tipo de condiciones locales (A-D) en el que se ubica el proyecto. Para esto, es indispensable realizar una inventariación de las operaciones. Esta debe recabar la siguiente información como la más importante:

- lugar, infraestructura disponible, acceso, comunidades aledañas, datos climatológicos, etc.;
- tipo de uso del suelo (áreas protegidas, comunitarias, reservas forestales, etc.);
- tipo de yacimiento, características geológico-mineralógicas;
- tipo de organización de la mina (cooperativa, empresa, sociedad, etc.);
- tecnología aplicada (métodos de explotación, extracción, beneficio, indicando capacidades);
- impactos ambientales;
- datos socio-económicos y culturales.

Excepcionalmente, las organizaciones estatales o no-estatales (especialmente los organismos sectoriales) disponen de estas informaciones. Generalmente, es el mismo proyecto que tiene que realizar estos inventarios. Sobre esta base, se pueden calificar, cuantificar y clasificar las minas, las tecnologías empleadas y los impactos ambientales en el área del proyecto, así como las condiciones infraestructurales y socio-económicas del grupo meta. Luego, recién es posible priorizar las tareas del proyecto respecto a la implementación de las medidas técnico-ambientales.

El proyecto puede concentrar su trabajo en el impacto ambiental más relevante de un área, o mejor, atacar un impacto menor, donde las medidas técnico-ambientales sean más fáciles de implementar. Este último paso sirve para ganar confianza en el grupo meta, para luego atacar los problemas más graves. También, en algunos casos, es favorable atacar el problema con el conflicto potencial más grande (p.ej. enfrentamiento entre mineros y agricultores sobre contaminación de aguas). En este caso, no solamente existe el gran interés de las autoridades por llegar a una solución, sino también que existe una alta predisposición de los mineros para cambiar sus procesos y evitarse problemas con sus vecinos agricultores (ver control/presión social, subtítulo 6.1.4).

Es poco probable que para los problemas técnico-ambientales, que el proyecto encuentre en su área, ya existan soluciones conocidas que se pue-

dan implementar directamente. También es poco probable que un proyecto pueda desarrollar verdaderas nuevas tecnologías. Lo que sí existe es bastante información técnica sobre procesos, máquinas y métodos, compilados por diferentes autores (63, 46, 99), así como literatura técnica correspondiente.

La calidad de los ejecutores de un proyecto se percibe principalmente por la capacidad para seleccionar las tecnologías que puedan ser divulgadas en el área del proyecto para mitigar los impactos ambientales en base a conocimientos profundos tanto técnicos como socio-culturales.

Para preseleccionar tecnologías con un buen potencial de difusión, se tienen que evaluar las mismas por el listado presentado en el subtítulo 5.7 (Tabla 19). Antes de realizar cualquier difusión, **las medidas técnico-ambientales seleccionadas tienen que ser adaptadas y probadas junto con los mineros y aprobadas por ellos mismos.**

Generalmente, las técnicas baratas y sencillas tienen mucho más potencial de difusión que las costosas y/o complicadas. Por esto, es preferible la difusión masiva de una tecnología simple, que posiblemente no soluciona el problema en su integridad, en lugar de tratar de imponer tecnologías de alta efectividad, pero de poca probabilidad de difusión.

Es necesario tener posibilidades de experimentar con varias técnicas y optimizarlas en condiciones reales. Para esto sirven las denominadas “minas piloto”. Aquí se investiga bajo condiciones reales del lugar (no de laboratorio) las posibilidades y limitaciones de las técnicas preseleccionadas. No es posible prever cualquier problema práctico antes de enfrentarlo (que no siempre es un problema técnico). Técnicas que parecían anteriormente eficientes o que dieron buenos resultados en otras áreas, se pueden mostrar imposibles de aplicar en otras. Puede suceder, también, que técnicas que parecían poco interesantes se vuelvan aplicables bajo ciertas condiciones especiales del lugar. Por esto, no es recomendable entrar con una solución prefijada a un proyecto. Como ejemplo, se puede mencionar aquí los varios intentos de implementar y divulgar concentradoras centrífugas como única solución para el problema del uso de mercurio en la pequeña minería (para obtener en un solo paso un concentrado comerciable o fundible. En el caso de estar ubicado en un área del Tipo B, C o D (ver Tabla 24), el proyecto tiene que ofrecer toda una gama de técnicas factibles para satisfacer distintas necesidades, en diferentes niveles tecnológicos y diferentes condiciones locales.

Normalmente, ni las autoridades del sector minero-ambiental, ni los ingenieros de un país conocen bien la idiosincrasia de sus pequeños mineros, menos la pueden conocer los expertos internacionales. Por esto, los

seminarios y talleres con los mineros, las visitas del grupo técnico a las minas (p.ej. en la inventariación) no sólo sirven para que los mineros conozcan el proyecto, sino también para que el proyecto conozca a sus mineros.

Se debe poner suma atención, en entender la organización de las minas y los grupos mineros, así como las relaciones socio-económicas entre mineros, dueños de minas, equipos o plantas de beneficio, compradores de mineral, vendedores de equipo e insumos, como a los aspectos socio-culturales (religión, costumbres, supersticiones, etc.). Estos aspectos y condiciones influyen en muchos casos más en la facilidad de difusión de las medidas técnico-ambientales que en sus implicaciones técnicas. Al contrario de los métodos técnicos, los aspectos socio-económico-culturales son mucho más difíciles de cambiar. Si bien los mineros en la mayoría de los casos aceptan ayuda técnica externa, si un proyecto pretende cambiar sus costumbres o creencias o quiere cambiar estructuras establecidas, ven esto como injerencia y falta de respeto.

Cambios tecnológicos, que para su funcionamiento necesiten cambios organizativos sustanciales (p. ej. organización del trabajo o de responsabilidades en una mina), son mucho más difíciles de realizar que los cambios tecnológicos que encajan perfectamente en la estructura existente.

Un aspecto que se puede constatar en casi todas las minas pequeñas es que el sistema de trabajo implantado se debe a que uno o varios de sus componentes trabajaron en otra mina, en la mayoría de los casos como obreros o como voluntarios, antes de incorporarse como «socios» o formar parte del grupo fundador de la nueva operación, gracias a los conocimientos adquiridos. Esta práctica permite identificar o clasificar los varios «modelos originales» de minas o plantas de beneficio. Todas las plantas actuales son copias de estos “modelos originales”, habiendo sido mejoradas en muy contados casos. Peor aún, sin reflexión alguna, se siguen emulando procesos que funcionan mal. Toda la información sobre tipos de maquinaria y equipo disponibles, modo de construir, instalar y emplear, se sigue transmitiendo y copiando de unas operaciones a otras. En la práctica, no existe una verdadera innovación tecnológica por una demanda encauzada, que sea el resultado de una “auto-capacitación” de los pequeños mineros mediante libros, manuales, etc. Lamentablemente, se han dado demasiados casos en que algunos “ocasionales ingenieros”, luego de prometer milagros a los pequeños mineros, han fracasado rotundamente, lo que ha generado una natural desconfianza hacia la tecnología “exógena” y el conformismo con lo conocido y familiar.

Esta “autodifusión” de tecnologías caseras, no orientadas hacia el objetivo de obtener resultados óptimos, sino orientadas bajo la premisa “lo que funciona en el caso de los demás, también funcionará en el mío”, ha traído como consecuencia que muchas de estas minas se encuentren en una situación técnica y económica crítica (baja recuperación y productividad, altos costos de operación, etc.).

A los mineros les falta predisposición para adaptarse a nuevas situaciones, ya sean éstas referidas a la producción o a exigencias mayores, como la protección al medio ambiente. A modo de ejemplo, se cita la realidad de las operaciones aluviales, que al moverse río abajo van encontrando oro cada vez más fino, pero siguen utilizando sus viejas canaletas de los buenos tiempos donde el oro era grueso y se quedan sin saber qué hacer al ver cómo gran parte del oro fino regresa al río con la pulpa de las colas. Al no conocer otras técnicas apropiadas para mejorar su recuperación, algunos empiezan a agregar mercurio a su canaleta, en espera de captar el oro fino, logrando solamente contaminar el medio ambiente.

Las diferencias en nivel tecnológico entre diferentes operaciones de una misma región, que trabajan sobre un mismo tipo de yacimiento, no se deben tanto a algunas diferencias que podrían existir (p.ej. características geológicas y mineralógicas de su yacimiento, infraestructura disponible, etc.), sino que resultan, ante todo, de las diferencias en capacidad de inversión de los diferentes grupos. Si bien existen mineros, que por mucho tiempo demuestran satisfacción con su sistema de trabajo y sus ganancias, la tendencia general es de mecanizar y agrandar aún más su operación para ganar más.

Se ha visto que los procesos de desarrollo tecnológico en la pequeña minería siempre han comenzado como “experimentos” de empresas individuales, que han ensayado con éxito alguna innovación y con esto han logrado ventajas técnico-económicas. Luego, estas soluciones han sido copiadas y aplicadas por empresas vecinas. La sustitución de baterías de molinos de piones (bocartes) por molinos chilenos en Ecuador y Colombia, así como la introducción de la cianuración en los países andinos del norte, son tan sólo dos ejemplos para corroborar este mecanismo de difusión.

La difusión de tecnologías basada en “modelos” es el mecanismo que el proyecto puede utilizar para transferir tecnologías limpias, aprovechando la vía tradicional de difusión de conocimientos. Dado que las tecnologías no pueden ponerse a prueba en laboratorio y que, con razón, nadie aceptaría una demostración realizada allí como “auténtica” o real, habrá

que encontrar primero minas apropiadas que estén dispuestas a correr el riesgo de una reconversión hacia el uso de nuevas tecnologías. Ello requiere no sólo la predisposición a asumir el riesgo y tener plena confianza en los colaboradores de un proyecto de fomento, sino también el consumo considerable de fuerza de trabajo, tiempo y, por último, pero no menos importante, la disponibilidad de recursos financieros.

No en todas las minas la toma de decisiones es fácil y rápida. En el caso de cooperativas o sociedades, donde el número de socios varía entre 20 y más de 100 (responsables directos de cualquier toma de decisión), toma bastante tiempo hasta que se hayan tomado decisiones claras. Ello implica un largo período de preparación y consecuentemente, también, de asignación de personal al proyecto. Pese a todo este trámite, no se puede descartar un eventual fracaso, ocasionado por un cambio repentino de decisión (por ejemplo, el cambio repentino del directorio de una cooperativa).

El éxito de una medida depende principalmente de la selección de la mina donde se aplicarán las nuevas tecnologías por primera vez. Los errores no sólo cuestan dinero, sino, sobre todo, mucho tiempo. Una mina elegida como “piloto” debe reunir las siguientes características:

- buena ubicación geográfica (al centro de una región minera)
- fácil acceso (camino transitable durante todo el año, sin problemas de derrumbes, etc.)
- yacimientos con potencial (reserva) para muchos años
- organización eficiente y funcional (trabajo compartido, sin intrigas al interior, sin problemas de deudas, etc.)
- disposición a invertir esfuerzo humano y recursos financieros
- buenas relaciones con las comunidades aledañas
- disponibilidad de infraestructura o facilidades para su implementación (campamento, energía, agua, espacio)
- sensibilización e interés en los problemas ambientales (conciencia ambiental)
- (“operación exitosa”)

Sólo en contados casos será posible llenar todos estos requisitos, pero mientras más se aproxime la empresa piloto a este perfil, menores serán los riesgos inherentes a la difusión de soluciones exitosas.

Resta definir qué se entiende por “operación exitosa”:

Las pequeñas minas de una región se diferencian por su nivel tecnológico; no obstante, existen algunas que sobresalen y están por encima del

promedio, es decir que han logrado un mejor equipamiento técnico y procedimientos más refinados que sus homólogos. Estas “operaciones exitosas” se distinguen de todas las demás por su mayor productividad, organización rigurosa, mayor grado de mecanización, mejores condiciones de trabajo, sueldos más altos, mejor situación de vivienda y otros factores. Es por ello que en los círculos de mineros se las presenta, reconoce y estima siempre como modelo a seguir. Suelen ser minas relativamente antiguas, que han alcanzado su estado actual con el transcurso de los años gracias a un trabajo duro, pero también gracias a la suerte (buenos yacimientos, acceso a crédito, etc.). Son especialmente idóneas para equiparlas como operaciones modelo. Debido a su buen funcionamiento, sus socios no se preocupan tanto por la subsistencia cotidiana, sino que reflexionan permanentemente sobre posibles mejoras, incremento de producción, nuevas adquisiciones, etc. Por lo tanto, en su caso existe una predisposición natural, basada en una cierta sensación de seguridad, como para detener su planta por unos días a fin de realizar modificaciones, mientras que operaciones vecinas simplemente no pueden permitirse este “lujo”, porque simplemente significaría renunciar al pan del día.

Se ha puesto “operación exitosa” entre comillas porque no siempre la elección de ésta es la aconsejable. Sin duda, este concepto ha dado buenos resultados en algunos casos. No obstante, en algunas áreas las minas exitosas no sólo son las más grandes y ricas, sino también las más saturadas y perezosas, debido a su éxito y sus buenas ganancias. Si la oferta del proyecto, de ayudar a mejorar la tecnología no encuentra ningún interés en una de las minas exitosas de una región, el proyecto tiene que buscar otras oportunidades de implementación de sus primeras medidas técnico-ambientales.

Un objetivo o argumento muy apropiado, que viene al caso para lograr esta oportunidad, son las minas que quieren mejorar sus producción (ingresos), pero no tienen la capacidad técnica necesaria. En estos casos, **el proyecto tiene la posibilidad de ofrecerles asistencia técnica, con la condición de implementar paralelamente medidas ambientales.** En el caso de la pequeña minería aurífera primaria en Bolivia, esta estrategia ha funcionado muy exitosamente.

Para cualquier mina modelo, donde se hayan implementado medidas técnico-ambientales para mostrar sus bondades a los demás mineros, es indispensable que esta mina trabaje bajo las mismas condiciones que sus vecinos del lugar, y que por la presencia del proyecto no se produzcan distorsiones de estas condiciones (p.ej. subvenciones pagadas

por el proyecto, máquinas y procesos manejados sólo por técnicos del proyecto, etc.). Las medidas implementadas tienen que demostrar su factibilidad y ser operadas por los mismos mineros (después del tiempo necesario de ajuste y entrenamiento).

Una de las experiencias importantes en los proyectos de pequeña minería se refiere a la adecuada interpretación de la estrategia de fomento. En este caso, se debe diferenciar básicamente entre dos enfoques distintos:

- El **efecto amplio**, el cual se basa en alcanzar con las ofertas de fomento del proyecto al mayor número de beneficiarios o miembros del grupo meta simultáneamente. Esto, naturalmente, implica que se dispone de menos fondos para cada acción individual.
- El **fomento puntualizado** o enfoques de tipo piloto. En esta forma, el proyecto se limita a pocas y escogidas medidas individuales, lográndose una fuerte concentración de los fondos del proyecto.

Las experiencias hacen pensar que es favorable aplicar ambos criterios en la ejecución del proyecto:

- En una primera fase, un fomento puntualizado de **enfoque tipo piloto**, en lugar de prestar un fomento de amplio espectro, hasta encontrar soluciones difundibles.
- En la segunda fase, la difusión e **implementación masiva** de las medidas técnico-ambientales.

Es de suma importancia rebasar la etapa de las “minas piloto” y entrar a la etapa de difusión masiva durante la duración del proyecto.

Una tecnología nueva sólo puede sobrevivir cuando existen suficientes operaciones mejoradas (como la población mínima, para el caso de especies animales en peligro de extinción). Una sola mina piloto –por cualquier problema (legal, de yacimiento, financiero, etc.)– puede desaparecer rápidamente. Además –el objetivo de un proyecto, generalmente es la mitigación sostenible del impacto ambiental de la pequeña minería en un área– y esto no se logra mediante una sola mina piloto.

En los proyectos ejecutados, se ha notado una cierta “autodifusión” de medidas exitosas (especialmente cuando su aplicación resulta en ventajas económicas). Muchas veces, se ve la autoimplementación como el éxito más grande de un proyecto. Lamentablemente, el paquete de tecnologías desarrollado por el proyecto corre el peligro de distorsionarse por la vía de una autodifusión:

- se (auto)implementan sólo las tecnologías económicamente interesantes
- sin asistencia técnica (asesoramiento y seguimiento) y sin un control de calidad; las mismas técnicas se alteran en el transcurso y pueden perder su efectividad haciendo menos probable su futuro uso.

Por esto, es indispensable ofrecer y garantizar a largo plazo el seguimiento de las medidas implementadas. Esto se puede realizar con el mismo proyecto o con otro si las actividades se traspasan a una organización sostenible (ver subtítulo 6.2.5).

Una condición en la fase de implementación debía ser que sean los propios mineros los que paguen las medidas a implementarse. Esto, sin embargo, es difícil en el caso de medidas piloto o experimentales. En estos casos, es aconsejable que el proyecto financie la implementación y algunas veces pague los costos de operación de estas medidas durante el tiempo de experimentación.

Parece poco probable que un proyecto de duración limitada pueda cambiar/mejorar todas las minas en su área de trabajo. Sin embargo, el objetivo debe ser mejorar el número más grande posible. El esfuerzo necesario para cambiar una mina es bien variable. **Una “mina piloto”, sirve inicialmente para experimentar y optimizar las diferentes alternativas tecnológicas, para luego convertirse en modelo para otras.** El esfuerzo (personal, de tiempo, de conocimiento, financiero, etc.) para una mina piloto es grande y difícil de estimar (por la inseguridad de la investigación tecnológica). Una vez que se han encontrado las soluciones adecuadas, se las puede implementar en otras minas de una manera más fácil, barata y rápida.

Para acelerar la implementación y crear más “minas modelo”, el proyecto puede en algunos casos prestar maquinaria o equipos, con la condición, una vez instalados éstos, ajustados y aprobados por sus resultados favorables, de que los mineros tengan que pagarlos. Así, se puede superar la actitud reservada (recelosa) de muchos mineros, de invertir en tecnologías nuevas. Si se aumenta el número de implementaciones exitosas, el interés y la disponibilidad de invertir de las demás minas aumenta. Esta estrategia ha mostrado buenos resultados en el Proyecto MEDMIN en Bolivia. En este caso, sin embargo, después que los mineros han pagado por los equipos instalados, la asistencia técnica y el seguimiento por parte del programa es todavía gratuita. Una participación de los mineros en los gastos de asisten-

cia técnica es deseable pero no fácil de obtener, por lo menos en la fase que cuenta con financiamiento internacional.

6.2.4. Aspectos de género

6.2.4.1. Consideraciones generales

Los aspectos de género son de especial importancia en la ejecución de un proyecto minero ambiental. El desarrollo equilibrado entre hombres y mujeres es parte de la visión del desarrollo. Desde una visión integral del desarrollo sostenible, crecimiento económico y desarrollo humano son dimensiones distintas pero complementarias del mismo.

La igualdad de oportunidades para los distintos grupos poblacionales y la ampliación de la democracia participativa son una condición para superar la pobreza. En ese sentido, es que el proceso de desarrollo que pretendemos apoyar no sólo debe buscar elevar indicadores ambientales y económicos, sino que debe preocuparse por apoyar el desarrollo de las personas, de los distintos grupos y etnias, del mejoramiento de su calidad de vida, lo que nos remite a hablar de fortalecer potencialidades.

Una consideración de los acciones de desarrollo, desde una perspectiva de género^a, permitirá no sólo la optimización de la inversión social y económica porque toma en cuenta la particularidad de cada grupo, sino que nos permitirá avanzar de manera más adecuada en el apoyo a procesos de equidad, como base de la sostenibilidad del desarrollo de las personas y de los pueblos.

A nivel micro, se debe enfatizar el impacto económico y social en los/las beneficiarios/as del proyecto. La consideración de la lógica de funcionamiento interno de los sistemas de producción es importante para un apoyo diferenciado por género. Una propuesta de cambio técnico, por ejemplo, puede implicar cambios en la asignación de la mano de obra, lo que puede frenar o perjudicar la situación de mujeres, ancianos/as y menores.

La oferta del proyecto debe incorporar una oferta diferenciada por género en el marco de sus objetivos y propuesta temática. Esto supone que la elaboración de la propuesta es resultado de un proceso de planificación participativa con la población, presentando resultados claramente diferenciados por género.

a Es decir, desde la perspectiva de aquellos hombres y mujeres, resultado de construcciones socio-económicas, culturales e históricas sobre una base biológica.

A **nivel meso**, es decir, en el fortalecimiento de los instrumentos de implementación y fomento de desarrollo, se debe enfatizar en el apoyo a acciones tendientes al logro de igualdad de oportunidades para hombres y mujeres, intentando afectar rutinas-esquemas institucionales. Muchas veces métodos de trabajo, ideologías e intenciones se encuentran enfrentados.

A **nivel macro**, influencia sobre las condiciones de entorno, se trataría de participar activamente en el diálogo político para favorecer condiciones que apoyen reformas legales en áreas ambientales, económicas, jurídicas, políticas tendientes a reducir desigualdades y/o reconocer derechos, a fin de respaldar los avances inmediatos, concretos, logrados a través del proyecto.

En la selección de los equipos de trabajo, los responsables del proyecto deben poner énfasis en la contratación de personal femenino, sobre todo en puestos directivos.

En ese sentido, para el personal femenino ya existente debe posibilitarse la información y asistencia a programas de formación/cualificación (nacionales, extranjeros).

A nivel de actividades con el grupo meta, el buscar formas de trabajo que incluyan a hombres y mujeres en todo el ciclo del proyecto, desarrollar categorías e indicadores por género, instrumentos de monitoreo, evaluación e impacto diferenciado, es tarea del equipo del proyecto.

De igual manera, es tarea del mismo equipo buscar formas de modificar sistemas culturales y procesos de trabajo asentados en desigualdades y discriminaciones de género. Sin estos cambios, los avances concretos no serán sostenibles en el tiempo.

De manera general, este propósito implica desarrollar métodos más participativos que reconozcan y respeten las diferencias; buscar acercamientos más sensibles a las realidades y perspectivas de los/las distintos/as participantes, gente local y agentes institucionales.

Este subtítulo se basa en los lineamientos conceptuales y estratégicos para la consideración del desarrollo equilibrado entre hombres y mujeres de la COSUDE (100) en Bolivia.

6.2.4.2. *Particularidades del sector minero*

La actividad minera está caracterizada por un alto riesgo: no solamente para el medio ambiente, sino especialmente para aquellas personas que se dedican a la explotación de minerales en labores subterráneas. La oscuridad dentro de las minas, la complejidad de los fenómenos geológicos

y geotécnicos, el peligro de accidentes (caída de rocas, derrumbes, etc.), y las condiciones duras del trabajo físico, forman condiciones de trabajo muy particulares. Tomando en cuenta estas circunstancias, uno de los primeros logros sociales de los movimientos obreros en los países industrializados ha sido la prohibición del trabajo de mujeres y niños en labores mineras. Bajo el concepto de un desarrollo equitativo de género, frecuentemente se confunde esta medida de protección con una medida de discriminación.

Otro aspecto que tiene que ver con la situación particular de la minería referente a la participación de mujeres, es el espiritual. La tierra y sobre todo el ambiente subterráneo, en muchas culturas es relacionado con aspectos religiosos, sea como “Pacha Mama” (madre tierra) en la cosmovisión andina, como infierno en la fe cristiana, o en múltiples otras formas de creencias en seres del mundo subterráneo. La presencia de mujeres en el trabajo subterráneo, según estas creencias, puede molestar a estos seres espirituales y, en consecuencia, provocar accidentes^a. Son razonamientos de carácter moral, que en algunas religiones (que atribuyen a la tierra un sexo femenino) prohíben el “ingreso” de otros seres de sexo femenino^b.

La participación de mujeres en el proceso minero se encuentra, frecuentemente, en las últimas etapas del beneficio mineral (ver fotos 47, 48). Esta participación se debe en muchos casos a que se atribuye a las mujeres una forma de trabajo más minucioso y más meticuloso. En la práctica, esta participación directa permite a las mujeres un mejor control de los ingresos familiares y hasta la “retención en la fuente” del presupuesto familiar, y así una mayor independencia. Existen proyectos que han fracasado por no haber tomado en cuenta estos factores (101).

-
- a La experiencia propia de uno de los coautores demostró, que la existencia de creencias en fantasmas subterráneos no tienen que ver con el desarrollo tecnológica de las minas: En una de sus primeras prácticas estudiantiles fue expulsado de una mina de carbón altamente mecanizada y automatizada, por el hecho de haber silbado durante el trabajo en una galería, lo que según la creencia de los mineros provoca accidentes por caída de piedras cuando los fantasmas así despertados salen bruscamente de la roca. El mismo efecto (de despertar a los seres subterráneos y de causar accidentes) se atribuye en muchas regiones mineras a las mujeres, cuando entren en una mina.
- b Estas creencias existen sobre todo en regiones con una larga tradición minera (Europa, Bolivia, etc.). Es interesante notar que en países con una historia de minería relativamente corta, las mujeres no son excluidas de los trabajos en interior mina. Por ejemplo en Venezuela, en el famoso “Km 88”, mujeres y hombres trabajan lado al lado en las explotaciones subterráneas.

Típicamente cuando menos mecanizada la pequeña minería, existe más participación equitativa de mujeres y hombres (no es así en la minería industrial). En la minería artesanal “por batea”, o usando pequeñas canaletas, p.ej. en Bolivia entre los “barranquilleros”, en los que trabajan yacimientos auríferos aluviales o las colas de minas auríferas aluviales o los “relaveros” que lavan con la batea colas de minas de estaño (Bolivia, Tailandia, Malasia, etc.), se encuentra hombres, mujeres y niños trabajando juntos. Otro trabajo típico de mujeres, es el manejo de la “toloca”, o molino manual de piedra, en operaciones primarias auríferas en Bolivia, o la “quimbaleta” en Perú. Generalmente el manejo de cualquier “máquina” en la pequeña minería es reservado para los hombres, quienes se consideran los únicos que pueden dominar este trabajo. Que esto –especialmente en los trabajos de la concentración de minerales– no es cierto, demuestran las mujeres, quienes manejan y controlan las mesas concentradoras en algunos ingenios de cooperativas estañíferas en Bolivia, generalmente con más atención y mejores resultados que los hombres.

Una serie de trabajos efectuados por mujeres y considerados como “trabajo inferior”, resulta de la necesidad de trabajar y cuidar a los niños o dar de lactar a su bebé al mismo tiempo. Debido a este “doble trabajo”, las mujeres en esta situación no pueden dedicarse a trabajos mineros que requieren de un esfuerzo completo. Especialmente trabajando como “palliri”^a o “barranquillera”, las mujeres son acompañadas por sus hijos, que frecuentemente también trabajan, escogiendo piedras con mineral o lavando en pequeñas bateas (ver fotos 49, 50).

El prejuicio de que las mujeres no pueden resistir en trabajos duros y netamente físicos simplemente no es verdad, como demuestran las mujeres mineras en Venezuela, que levantan un saco con 80kg de carga al igual que sus colegas masculinos.

Sin embargo, existen trabajos donde no se recomienda el trabajo de mujeres. Estos especialmente son trabajos con sustancias químicas, que puedan tener efectos negativos en el feto. **Para la pequeña minería aurífera, esto implica especialmente todo manejo de mercurio.**

Varias minas de gran escala a cielo abierto han comenzado de emplear preferiblemente mujeres para la operación de maquinaria delicada y costosa, como por ejemplo camiones de alta tonelaje. Las estadísticas mos-

a las “palliris” son las mujeres que escogen material valioso de los desmontes mineros en Bolivia

traron menores costos de reparación y mantenimiento, así como menos accidentes con chóferes femeninas respecto sus colegas masculinos (102).

Para proyectos ambientales, las mujeres juegan un papel de especial importancia. Debido a que son ellas las responsables de la salud familiar, la posibilidad de concientización, a través de argumentos y capacitación en el campo de la salud, es más viable entre mujeres que entre varones. De esta forma, las mujeres pueden contribuir en el control social y cívico de las actividades mineras, exigiendo de las empresas, sociedades o cooperativas un manejo ambiental adecuado. No se debe subestimar el poder de convicción de las mujeres, ya que con éxito se han implementado campañas de concientización basadas en caracteres femeninos. Respecto a la concientización ambiental, se debe tomar muy en cuenta las “redes femeninas de información”, las cuales, a pesar de funcionar en su mayoría en forma informal (difusión personal, “chisme”), no son menos eficientes que las formas formales de difusión (folletos, radio, video, seminarios, etc.) controlados generalmente por hombres.

En algunos casos la falta de participación e involucración directa de las mujeres en la actividad minera resulta hasta ventajosa para ellas. En el caso de la región Zaruma/Portovelo, en Ecuador se dedectó, entre otros aspectos, que debido a la atracción económica de la actividad minera muchos escolares de sexo masculino abandonaban la escuela a la edad de 12-15 años sin terminarla, mientras que un gran número de mujeres estudiantes ingresaban al colegio y terminaban su bachillerato (116).

6.2.5. Sostenibilidad institucional

Organizaciones o instituciones juegan un papel importante en la ejecución de cualquier proyecto. Estas requieren, sobre todo, servicios de apoyo que les permitan cumplir con sus objetivos a largo plazo. Independientemente de los conocimientos técnicos, existen también una serie de criterios para las instituciones “adecuadas”, que pueden ser resumidos bajo el tema de la sostenibilidad institucional. En el subtítulo 6.1.5 ya están mencionadas las diferentes instituciones en los diferentes niveles (micro, meso, macro) que puedan participar en la ejecución de un proyecto.

Las bases para la sostenibilidad en el área institucional quedan definidas con la concepción del proyecto y su ejecución. El logro de efectos sostenibles en el área institucional va unido a una serie de aspectos, los cuales se pueden diferenciar, a grandes rasgos, en cuatro grupos, que son: administrativos, financieros, personales e institucionales (Tabla 25).

TABLA 25
ASPECTOS IMPORTANTES QUE CARACTERIZAN UNA INSTITUCIÓN SOSTENIBLE

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	ASPECTOS FINANCIEROS	ASPECTOS PERSONALES	ASPECTOS INSTITUCIONALES
• administración de las operaciones de la institución poco burocratizada • costos fijos bajos • manejo profesional de la institución • estructura de la organización bien clara con responsabilidad conocidas por todos • descentralización de decisiones • estructura administrativa democrática • sistema eficiente de control interno	• capacidad de autofinanciamiento • patrimonio de la institución garantiza sostenibilidad institucional • capacidad de captar fondos • capacidad de crear recursos de diferentes fuentes • capacidad de manejo financiero eficiente • costumbre de revisión interna y auditoría externa voluntaria • esquema de remuneración y existencia de incentivos de acuerdo al desempeño laboral de los funcionarios	• disponibilidad de recursos humanos apropiados para la realización de los trabajos necesarios • alto grado de motivación del personal • alto grado de identificación del personal con la institución • poca fluctuación de personal • capacidades para la solución de problemas • aprovechamiento de know-how externo • competencia en planificación • pragmatismo para el logro del objetivo • profesionalismo • posibilidades de calificación dentro de la institución • posibilidades de capacitación fuera de la institución • relación buena con financiadores y el grupo meta • capacidad para relaciones públicas de la institución • ausencia de competencia entre colegas • costumbre de trabajar en grupo • costumbre de trabajo interdisciplinario • toma de decisión del personal independiente de influencias externas	• visión clara de la misión de la institución • mandato inequívoco para la ejecución de las tareas • planificación institucional existente a mediano y largo plazo • demanda existente para los servicios de la institución • oferta del proyecto adecuada a la demanda existente • buena imagen pública • gremios de decisión independientes de influencia política o de otro tipo • estructuras de organización claras (responsabilidades inequívocas) • sistematización y documentación del know-how • decisiones comprensibles y repetibles en el futuro • capacidad para trabajar en redes institucionales y de cooperación inter-institucional (alianzas estratégicas) • capacidad de reacción a cambios en las condiciones generales • limitación de las tareas al campo para el cual se tiene la competencia técnica (center of excellence) • control de eficacia y retroacción a los procesos de decisión

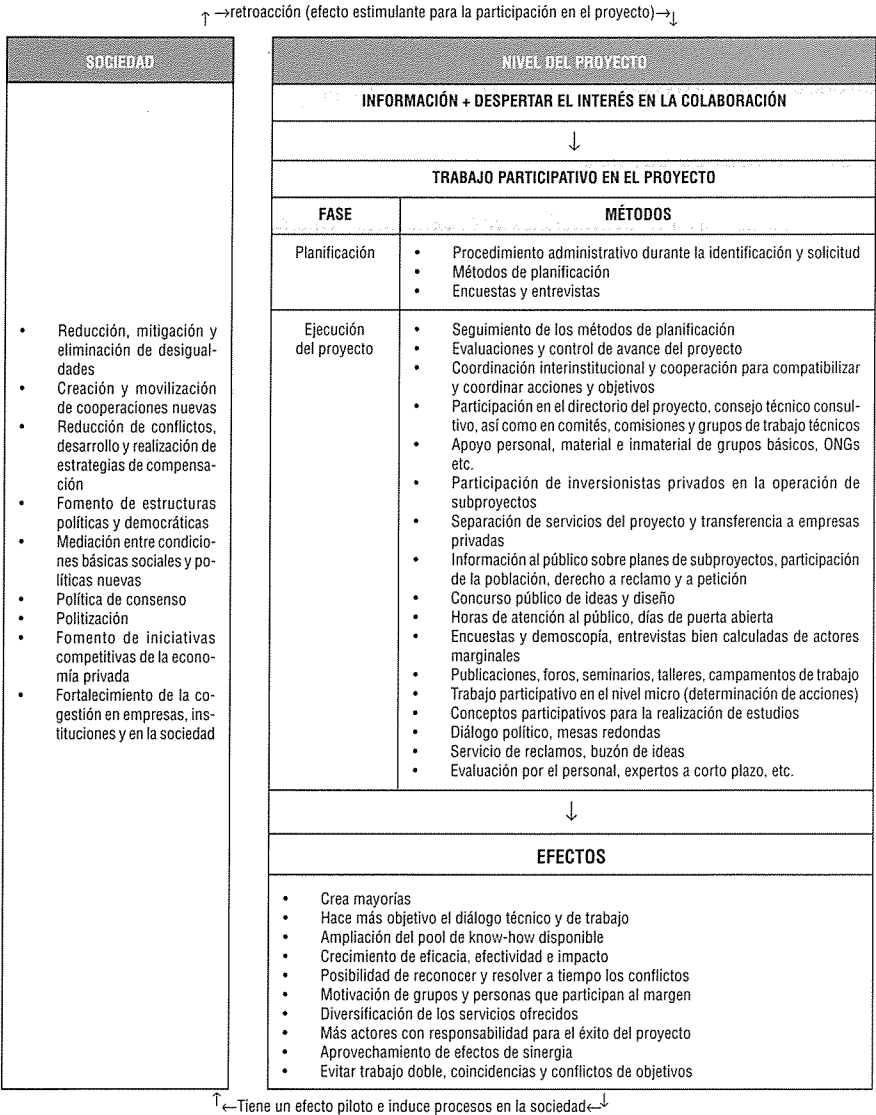
Estos diferentes aspectos representarán una guía para las tareas de una consolidación institucional y facilitarán juzgar la situación actual de una institución en el margen de una evaluación, por ejemplo. A largo plazo, después del tiempo definido del financiamiento externo, la “institución sostenible” (el ex-proyecto) debe seguir ejecutando, p.ej., medidas ambientales en la pequeña minería.

6.2.6. Participación

Uno de los principios básicos en la protección del medio ambiente es el principio del consenso. Esto sugiere que en especial en los proyectos ambientales –es decir, también aquellos proyectos de pequeña minería– se pueda lograr una participación de aquellos grupos que no estén incluidos formalmente en el proyecto. La gráfica siguiente demuestra esquemática-

mente la forma de esta inclusión, nombra grupos e individuos que deberán ser considerados dentro de las medidas ambientales y, finalmente, las ventajas y efectos para el proyecto y el área social (Ilustración 9):

ILUSTRACIÓN 9
MÉTODOS Y EFECTOS DE LA PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS



En la ilustración anterior, se distingue que la inclusión participativa de grupos, estén o no incluidos formalmente en el proyecto, sean organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, empresas privadas o personas individuales; todos ellos pueden contribuir a logros positivos tanto a nivel del proyecto como a nivel social. Esto se debe a que los conflictos potenciales son detectados y apaciguados a tiempo, el diálogo sobre temas especializados se lleva a cabo en círculos más grandes y es más objetivo, se llega a un consenso, y el comportamiento democrático es fomentado en y alrededor del proyecto.

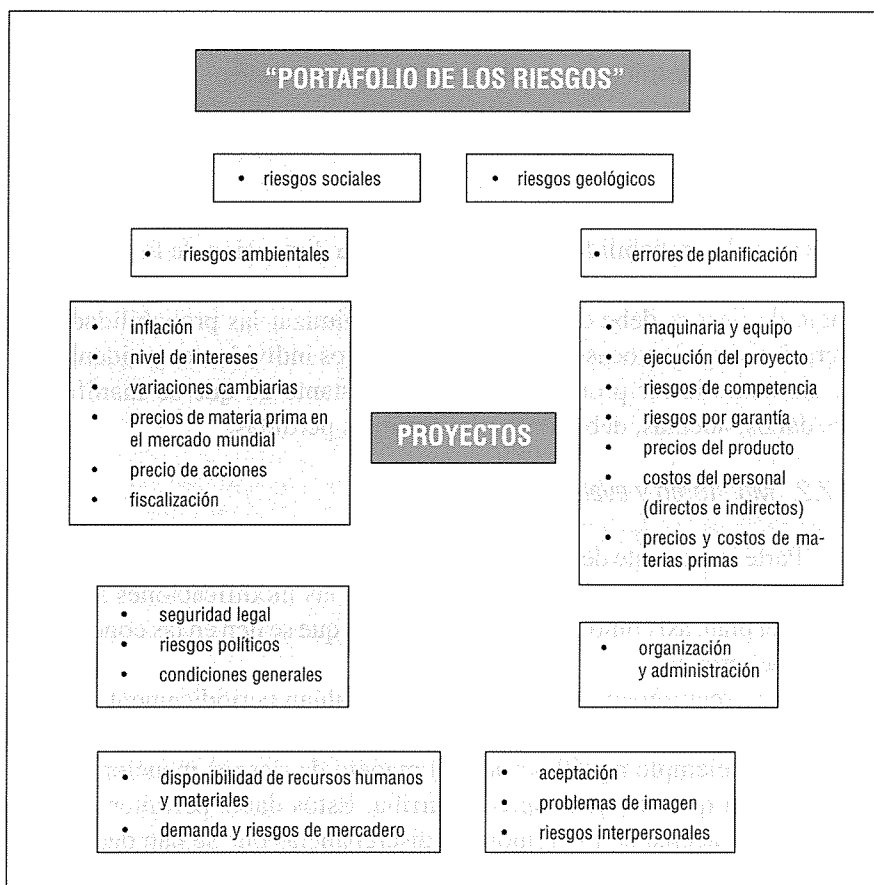
6.2.7. Control de calidad

Aparte de los requerimientos técnicos, administrativos y organizativos, cada proyecto necesita un sistema de control de calidad. Este está constituido por varios componentes, que se describen detalladamente en el párrafo siguiente.

6.2.7.1. *Manejo de riesgos*

Los proyectos de cooperación internacional se ven expuestos, al igual que en las empresas comerciales, a riesgos que pueden poner en peligro el éxito y la sostenibilidad del proyecto. Estos riesgos pueden ser de naturaleza objetiva, esto es, externa, o de naturaleza interna. El siguiente cuadro visualiza algunos de estos riesgos (Ilustración 10):

ILUSTRACIÓN 10
 "PORTAFOLIO DE LOS RIESGOS" (103)



Debido a la inmensa cantidad de riesgos, también en proyectos de cooperación internacional se debería aplicar modernos métodos de auditoría y manejo de riesgos. El esquema presentado arriba (que en sus bases fue tomado del "risk management", pero adaptado a proyectos de cooperación internacional) visualiza en forma de "checklist" los más importantes riesgos relacionados con el proyecto. Los riesgos pueden ser de naturaleza externa (como catástrofes naturales, inflación) y también de naturaleza interna (como errores de planificación o problemas de imagen). El reconocimiento precoz de estos riesgos potenciales en cada caso individual, así como medidas pre-

ventivas en el diseño del proyecto y en su ejecución, ayudan a estar prevenidos para reaccionar con flexibilidad a las condiciones de trabajo alteradas, cambiadas o deterioradas. Una medida adecuada para reconocer los riesgos a tiempo es mantener durante la ejecución del proyecto un sistema de monitoreo y evaluación especial para aspectos sensibles.

De esta manera, en los proyectos con componentes de créditos se deberán considerar, sobre todo, los componentes financieros como factores de riesgo.

Para la evaluación de los riesgos, es importante que éstos surjan como producto de la probabilidad de que suceda y la dimensión de los daños. Es por eso que en el marco de los proyectos de la cooperación internacional el manejo de riesgos debe estar enfocado a minimizar las probabilidades de generación de daños ocasionados por los riesgos individuales ya identificados, así como hacer pronósticos sobre el instante en que se manifiestan estos daños; además, debe limitar las posibles pérdidas.

6.2.7.2. Monitoreo y evaluación

Parte importante del control de calidad son el seguimiento y la evaluación, que en lo posible reconocerán a tiempo las modificaciones involuntarias en el plan, así como cambios importantes que se den en las condiciones básicas del proyecto.

En el seguimiento se controlan y se evalúan periódicamente los datos relevantes, referentes a la situación actual del proyecto o a la situación general, por ejemplo aquéllos sobre el manejo de riesgos mencionados en la ilustración que se puede apreciar arriba. Estos datos permiten obtener conclusiones acerca de los cambios o discrepancias que se han dado.

Para la evaluación, es importante tener conocimiento de los aspectos a examinar y de las dimensiones de los objetivos correspondientes (indicadores). Los logros de la situación actual, detectados en el marco del monitoreo del proyecto (descrito con valores cuantificados) son luego comparados con las metas fijadas.

Aquí se diferencian tres niveles, sobre los cuales se lleva a cabo la evaluación:

- el nivel de eficiencia en el cual se examina si los recursos financieros, materiales y personales se han aplicado de manera eficiente
- el nivel de efectividad, en el cual se examina si las actividades realizadas han significado un aporte efectivo para el logro de los resultados

planificados y si han contribuido al objetivo del proyecto

- el nivel de impacto, en el cual se examina, si el proyecto ha sido un aporte significativo al desarrollo positivo de la sociedad.

El peligro de una evaluación esquemática de esta índole es que siempre se toma como referencia la documentación de planificación. Esto tiene como consecuencia que se pueden evaluar las adaptaciones (necesarias y flexibles) de la estrategia del proyecto a los cambios de las condiciones como incumplimiento de la planificación.

Además, las tareas de administración más importantes en un proyecto generalmente no están estrictamente definidas en el nivel de resultados, de tal manera que al hacer la evaluación quedan fuera de consideración. Finalmente, en el control formal del proyecto, rara vez se cuestiona lo siguiente: “¿Qué hemos aprendido en este proyecto?”, y así se deja pasar la oportunidad de descubrir la esencia del trabajo, que como experiencia importante también podría ser aplicada a otros proyectos.

Los monitoreos y evaluaciones de esta índole podrán efectuarse tanto interna como externamente.

6.2.7.3. Adaptación flexible de la concepción del proyecto

La planificación de un proyecto a menudo nace después de hacer una pre-evaluación relativamente breve del proyecto, en parte realizada por personal externo y sin disponer de otras informaciones de trasfondo. Por esta razón, dicho proceso admite muchos supuestos. Estas se van verificando y objetivizando durante la ejecución del proyecto. En el curso de la ejecución del proyecto pueden variar las prioridades y las condiciones generales. **Esta dinámica requiere de una adaptación flexible de la estrategia del proyecto a la nueva realidad.** Sin embargo, es importante que las adaptaciones solamente se efectúen en los niveles de actividades y de resultados. **El objetivo** para el cual se han definido los mencionados niveles **debe ser perseguido sin alteraciones.**

Para realizar esta adaptación, en la planificación se deberá prever que en el proyecto se tengan regularmente sistemas de monitoreo, evaluaciones internas o externas, y talleres de planificación.



37. Separador hidráulico
(Coop. Cotapata, Bolivia)



38. Batea automática (Coop. La Libertad, Bolivia)



39. Retorta de fabricación rústica hecha de una lámpara de carburo (Coop. La Suerte, Bolivia)



40. Retorta de fabricación industrial (brasileira)



41. Retortas de fabricación local de diferentes tamaños (PMSC, Ecuador; MEDMIN, Bolivia)



42. Disolución de sulfuros con ácido nítrico (Coop. Huayna Potosí, Bolivia)



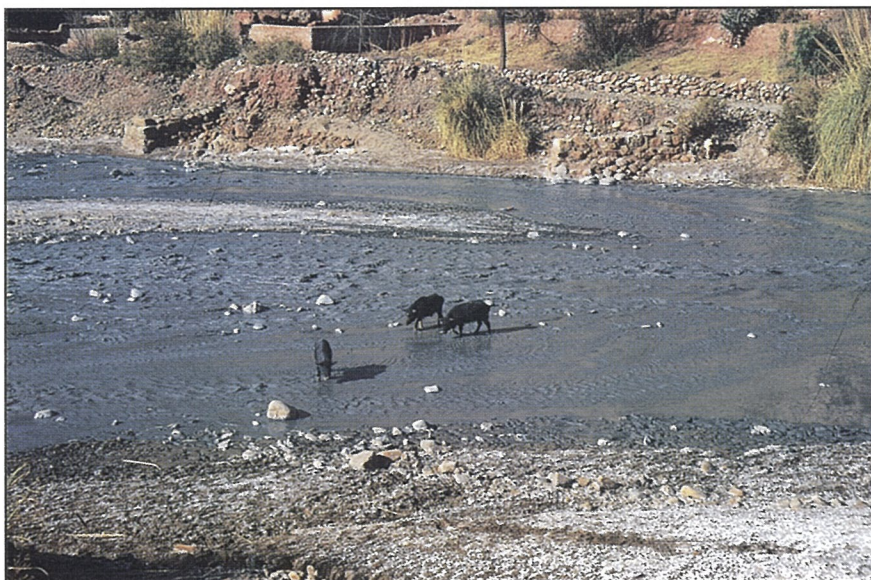
43. Río contaminado por basura, aguas servidas y colas de flotación (río La Ribera, Potosí)



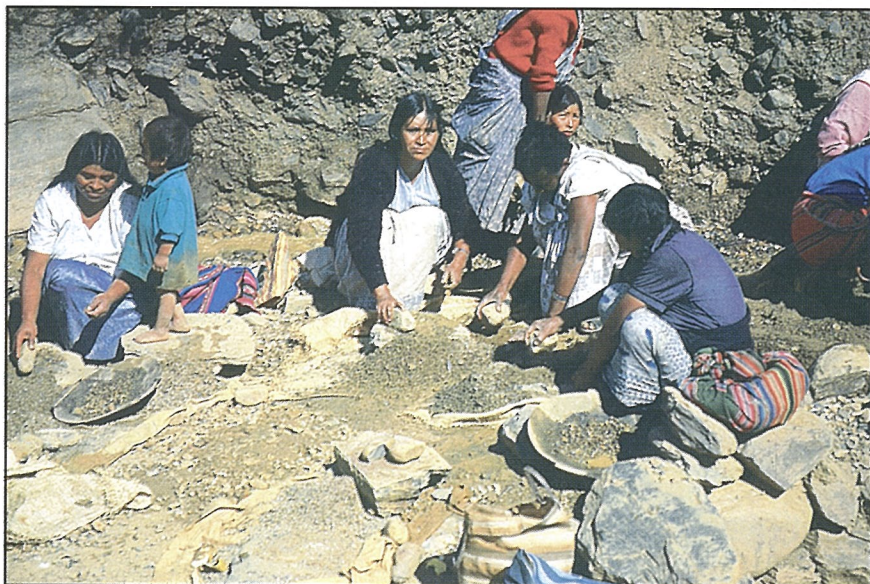
44. Aceite usado de una compresora (Coop. La Libertad, Bolivia)



45. Emisión de polvo de cuarzo por molienda en seco (Mina Machacamarca, Bolivia)



46. Cerdos en el río Tarapaya (contaminado por aguas servidas y colas de flotación) (Potosí, Bolivia)



47. Mujeres seleccionando carga de yacimiento aluvial semiconsolidado ("cause antiguo") (Coop. Pallayunga, Bolivia)



48. Mujer seleccionando carga de minería primaria (Bolivia)

En este capítulo se presentarán tres ejemplos de proyectos concretos que se profundizarán en sus aspectos más interesantes. Los tres proyectos son financiados por organizaciones internacionales.

7.1. Bolivia Programa “Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería” (MEDMIN)

7.1.1. Presentación de MEDMIN

El Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería (MEDMIN), es un proyecto de protección del medio ambiente, el mismo que es financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), y es ejecutado por la firma “Projekt-Consult GmbH” de Alemania con el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP) como contraparte. El proyecto inició sus actividades en abril de 1994; la primera fase tuvo una duración de tres años; actualmente, el MEDMIN se encuentra en la ejecución de su segunda fase, la misma que estará en vigencia hasta diciembre de 1999.

De un promedio de 7 millones de habitantes en Bolivia, aproximadamente 500.000 viven directa o indirectamente de la pequeña minería (104). Este hecho provoca serios daños al medio ambiente, considerando los métodos de trabajo arcaicos utilizados, los mismos que afectan tanto a los mineros y a sus familias como también a toda la población de los sectores mineros. Entre los daños al medio ambiente que son considerados de mayor gravedad están:

- Emisiones de mercurio causadas en la minería aurífera.
- Ingreso de lodos a los ríos y destrucción del paisaje causado por la minería aluvial.
- Contaminación de las aguas causada por emisiones de colas sulfurosas de los ingenios de concentración en la minería primaria.

- Aguas ácidas no controlables de socavones, desmontes y minas abandonadas.

Cooperación interinstitucional

En vista de que la protección del medio ambiente en la pequeña minería boliviana es un área poco tomada en cuenta hasta la fecha, el trabajo de cooperación interinstitucional fundamentado ha sido y seguirá siendo considerado la base para una ejecución exitosa de las actividades del proyecto. Únicamente de esta manera se pudo lograr que el proyecto sea conocido y aceptado al nivel político más alto. Además, a través de la cooperación interinstitucional, se garantiza una coordinación intensiva con otros proyectos ambientales en Bolivia.

Existe una comunicación directa y permanente entre las instituciones que actúan como contrapartes de MEDMIN, tanto a nivel micro, meso y macro, como también de las organizaciones internacionales correspondientes.

La contraparte del MEDMIN, al más alto nivel político, es el MDSP con su Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, la más alta autoridad para el medio ambiente en Bolivia. Las actividades son coordinadas, además, con el Viceministerio de Minería y Metalurgia (VMM), el cual representa la máxima autoridad a nivel de la minería en el país.

A nivel meso, la cooperación con las diferentes Federaciones de Cooperativas Mineras y las Cámaras de Minería y las organizaciones gremiales de la pequeña minería, posibilita el contacto directo entre el MEDMIN y el grupo meta.

A nivel operativo, se coopera con el Fondo Nacional para el Medio Ambiente (FONAMA). FONAMA encomienda a instituciones bolivianas, en el marco de un fondo especial financiado con recursos de COSUDE, la ejecución de medidas en el área de minería/medio ambiente.

A nivel de los grupo meta, son implementadas tecnologías medioambientales en colaboración directa con las empresas y cooperativas mineras, dentro de lo cual estas medidas son ejecutadas y coordinadas también con organizaciones no gubernamentales (ONGs), universidades y organismos gubernamentales, responsables del sector de minería/medio ambiente.

El máximo órgano del MEDMIN lo constituye un Directorio. Este se compone de representantes del MDSP, el VMM, FONAMA, COSUDE, la Federación Nacional de Cooperativas Mineras y Projekt-Consult GmbH.

La red interinstitucional y la participación de las instituciones, se refleja también en el Consejo Consultivo Técnico de MEDMIN. En el encuentro semestral del Consejo Consultivo Técnico participan las más diversas instituciones y personas interconectadas con el tema minería/medio ambiente, con la presencia, entre otros, de representantes de las ONGs, organizaciones estatales (ministerios, prefecturas, municipios, instituciones técnicas, etc.), universidades, representantes de la minería privada y cooperativizada, consultores y proyectos internacionales (ver Ilustración 11)

Actividades del Proyecto

Debido a las intensas y amplias actividades mineras en Bolivia, la problemática ambiental es también multifáctica. MEDMIN se concentra aquí en los siguientes sectores:

Primeramente, en la minería aurífera en el departamento de La Paz, y segundo en la contaminación del agua en el Departamento de Potosí.

Por otro lado, reciben particular atención y prioridad los problemas ambientales en los parques nacionales y otras áreas protegidas donde se tienen impactos ocasionados por la pequeña minería.

Minería aurífera en el departamento de La Paz

En La Paz, la actividad del MEDMIN se centra sobre el siguiente orden de tareas:

- Reducción de la utilización del mercurio en la concentración del oro y, también, de las emisiones de mercurio ligadas a dicho proceso.
- Recuperación simultánea de sulfuros, dañinos para el medio ambiente, con contenido de oro como subproducto comercializable.
- Almacenamiento adecuado de colas y clarificación de aguas efluentes del procesamiento.
- Monitoreo.

Lo anterior implica tanto el desarrollo y experimentación de métodos técnicos, instrumentos, equipos, maquinaria y materiales, como la elaboración y difusión de material de información audiovisual, boletines, y la realización de seminarios y talleres para los grupos meta y para los representantes de las instituciones y autoridades involucradas, así como también la capacitación y especialización de personal técnico nacional.

Los métodos y equipos utilizados son verificados y probados minuciosamente juntamente con los mineros, tanto en lo que se refiere a la preservación del medio ambiente como también a su aplicación práctica y su rentabilidad, antes de propagar su utilización. Aquí se presta la debida atención para que se dé prioridad a la tecnología disponible y de producción local, antes que a la tecnología importada. Una serie de equipos son producidos bajo la instrucción del personal del proyecto y en colaboración con talleres locales, p.ej., retortas de mercurio, hidroseparadores, tambores amalgamadores, jigs, espirales, etc. En el Programa MEDMIN se reconstruyeron y modificaron completamente los ingenios de concentración en aproximadamente 16 cooperativas y pequeñas empresas en la minaría aurífera primaria, con el fin de evitar el uso de mercurio en flujo abierto. A través de estas medidas y el empleo de la mayoría de las más de 60 retortas vendidas hasta la fecha, se pudieron reducir las emisiones de mercurio de la pequeña minería en más de cinco toneladas por año. Con esto, el MEDMIN se constituye en el primer proyecto a nivel mundial que ha logrado reducir significativamente las emisiones de mercurio de la pequeña minería. De estas medidas implementadas, resulta también un mejoramiento de los resultados de producción de las pequeñas empresas a través de un incremento en la recuperación del mineral en un 10 a 20%, y una disminución en la contaminación de aguas, suelos y aire.

Con las medidas implementadas en los yacimientos primarios, la reducción de las emisiones de sulfuros alcanza actualmente a alrededor de 300 t/año. Se ha logrado evitar la emisión de sólidos molidos (arenas) a los ríos mediante la construcción de varios depósitos de colas. Para disminuir el efecto de las aguas con sólidos finos (lamas) que ingresan a los ríos, la primera instalación para la clarificación de agua iniciará su funcionamiento en enero de 1998.

Complementariamente a las medidas técnicas ambientales, se elaboraron una serie de estudios socioeconómicos y médicos, que dan información sobre la influencia de la contaminación en los mineros y la población, así como también información social y económica fundamental sobre el grupo meta (59, 105, 106, 107).

Siete inventarios minero-ambientales elaborados en las regiones de Bolivia más importantes en producción aurífera, constituyen la base de conocimientos sobre la magnitud de los problemas y la base para la planificación de una difusión de las medidas arriba mencionadas, para poder alcanzar a mediano plazo una reducción de los problemas ambientales, en lo posible en toda las regiones que comprende la pequeña minería boliviana (108).

Contaminación de aguas en Potosí

En Potosí se practica la minería desde hace más de 400 años, y aun hoy las actividades son muy intensas. Ellas conllevan graves problemas medio ambientales, que por una parte son causados por la actividad actual y, por otra, son consecuencia de las actividades mineras del pasado.

Las actividades mineras en el Cerro Rico de Potosí provocan los problemas más gravitantes. Principalmente allí se encuentran activas, fuera de las empresas estatales y privadas, diversas cooperativas mineras. En total, se estima una población aproximada de 8.000 mineros en el Cerro Rico. La producción minera alcanza en promedio a 1.500 t/d y es procesada en alrededor de 40 ingenios de flotación, ubicados en el centro o en la periferia de la ciudad. Los residuos de flotación (más de 1.200 t/d), son descargados sin prevención ambiental directamente al río La Rivera, que se constituye consecuentemente en el más contaminado de Bolivia (ver fotos 9, 46). Este es afluente del río Pilcomayo (sistema fluvial Río de la Plata) y al ocasionar esta grave contaminación provoca no solamente problemas nacionales, sino también tensiones con Argentina y Paraguay.

Con el fin de evitar a futuro la emisión de desechos de los ingenios de flotación, MEDMIN contrató a la empresa Golder Associates UK, para elaborar el proyecto de construcción de un dique común de colas, en el que se retengan las colas de todos los ingenios (109). El agua decantada sería recirculada en su totalidad, de manera tal que con el funcionamiento del dique de colas no se produzcan más emisiones contaminantes. Para este Proyecto (Dique de Colas San Antonio, Potosí, con un costo de implementación de aproximadamente US\$ 2,5 millones), que contó con el asesoramiento y financiamiento de MEDMIN para la fase de factibilidad, se ha logrado comprometer el financiamiento correspondiente a través de la Cooperación Financiera Alemana (KfW). Actualmente, están siendo establecidos o determinados todos los aspectos organizativos sobre el funcionamiento y responsabilidades, antes de dar inicio a la etapa de diseño final y la construcción misma del dique de colas.

Un problema adicional se presenta en la emisión de aguas ácidas procedentes de socavones de minas existentes o abandonadas, que no solamente tienen en parte un pH extremadamente bajo, sino también un alto contenido de metales pesados. Debido a la evidente escasez de agua en Potosí, las aguas contaminadas son usadas para el riego en la agricultura –totalmente inadecuadas para esta finalidad, lo que conduce a problemas serios con los

campesinos— y que da lugar a un alto contenido de metales pesados en los productos agrícolas.

Por este mismo motivo, en otra zona de conflicto en el Departamento de Potosí, se está construyendo una instalación piloto para el tratamiento de aguas ácidas con alto contenido de metales pesados. Al mismo tiempo, aquí se trata de un proyecto compartido, en el cual junto a MEDMIN participan la comunidad, una ONG local, la Universidad de Potosí y un proyecto de desarrollo regional de la Comunidad Europea. El objetivo principal de este proyecto es poder proveer a futuro a los pequeños productores campesinos de agua apta para el riego.

Otras actividades

Para información, sensibilización y capacitación del grupo meta, de la población y las autoridades, se elaboró una serie de cinco diferentes videos de demostración y enseñanza (Presentación de MEDMIN; Problemática y soluciones de las emisiones de mercurio en la minería aurífera; Dique de Colas San Antonio, Potosí; Problemática ambiental en la pequeña minería tradicional de estaño, zinc, plomo, plata, etc.; Presentación de los proyectos piloto).

Complementariamente a los proyectos mencionados, se organizaron y se organizarán cursos y seminarios, que de igual manera son considerados una parte fundamental del plan de trabajo. Se incluye también la ejecución de cursos especiales para la capacitación de mineros como promotores ambientales.

Una serie de folletos, afiches y calendarios sobre los diferentes problemas medio ambientales y sus posibilidades de solución, completan el material de información. Publicaciones propias y el apoyo a campañas de difusión de información referente al tema minería/medio ambiente, corresponden igualmente al campo de trabajo propuesto, como la ampliación permanente de la documentación en las oficinas de MEDMIN.

El MEDMIN dispone de una “homepage” en Internet:

<http://coord.rds.org.bo/miembros/medmin/index.htm>

y participa activamente en la red de mercurio:

<http://www.geocities.com/rainforest/8985/mercurio.html>

MEDMIN administra una pequeña línea propia de financiamiento para trabajos de investigación, particularmente de trabajos de tesis de estudiantes bolivianos en la gama de temas de Minería/Medio Ambiente.

Asimismo, el MEDMIN ha participado activamente en la elaboración de la legislación ambiental en Bolivia. Actualmente, apoya a las autorida-

des de minería y medio ambiente en la difusión de las leyes pertinentes, reglamentos y normas en el sector minero/ambiental (110, 111).

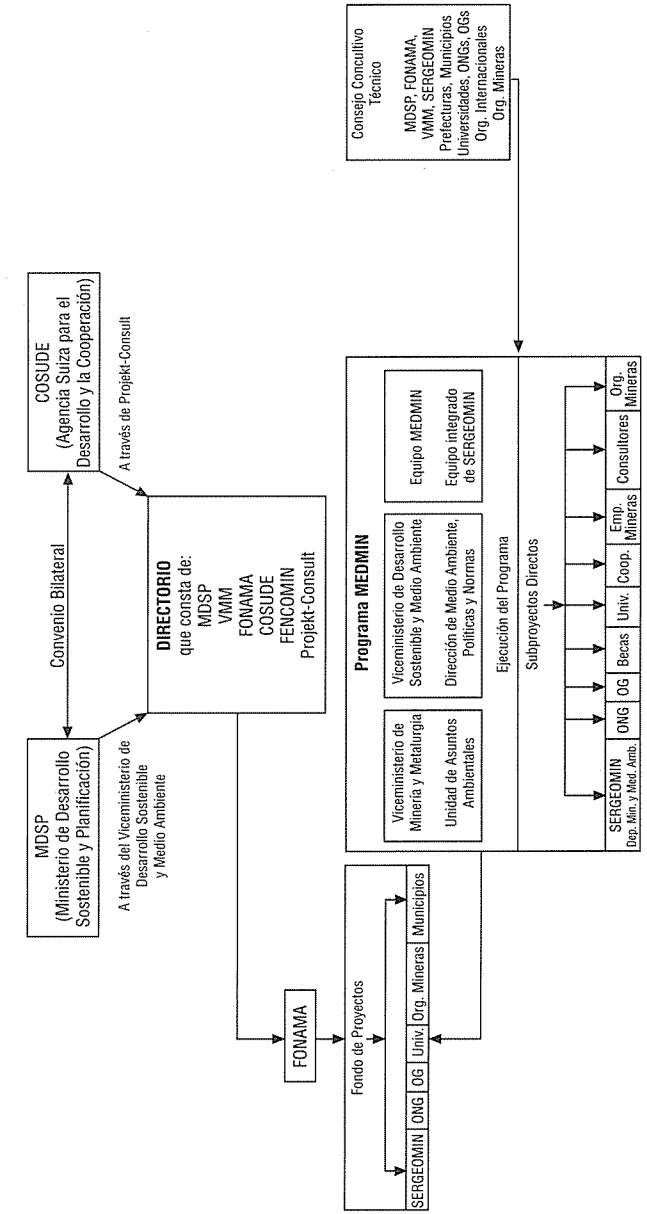
Una disminución de los problemas medio ambientales en la pequeña minería se puede lograr únicamente a través de un enfoque integral. A través del concepto de MEDMIN, las instituciones estatales pueden concentrarse en sus tareas específicas; esto quiere decir, en la elaboración de lineamientos políticos, como también su correspondiente control y coordinación. Contrariamente, las organizaciones no-gubernamentales (ONGs) reciben, a través de un asesoramiento específico, la posibilidad de calificarse como contrapartes competentes para la ejecución de diversos proyectos de medio ambiente.

De esta manera, se pueden aprovechar óptimamente las ventajas específicas de las ONGs, que persisten en disponer de una gran sensibilidad para aspectos sociales y culturales, y que ellas gozan de un mejor acceso a los grupos meta. Se ha demostrado que desde este enfoque aplicado ya se dieron efectos de sinergia para otros sectores de protección ambiental.

Únicamente técnicas individuales o conceptos técnicos, que ofrezcan ventajas económicas a los pequeños mineros, pueden considerarse exitosos. Una base para un impacto sostenible del MEDMIN es la fusión de efectos positivos tanto para la economía como también para la ecología.

El Proyecto es reconocido no solamente por sus trabajos prácticos realizados, sino también por una numerosa cantidad de publicaciones en la prensa, al igual que a través de numerosas conferencias en eventos nacionales como internacionales referentes al tema, y como interlocutora competente. Colaboradores fueron y son invitados por una serie de proyectos internacionales y autoridades extranjeras para visitas de trabajo a Brasil, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Guayana, entre otros.

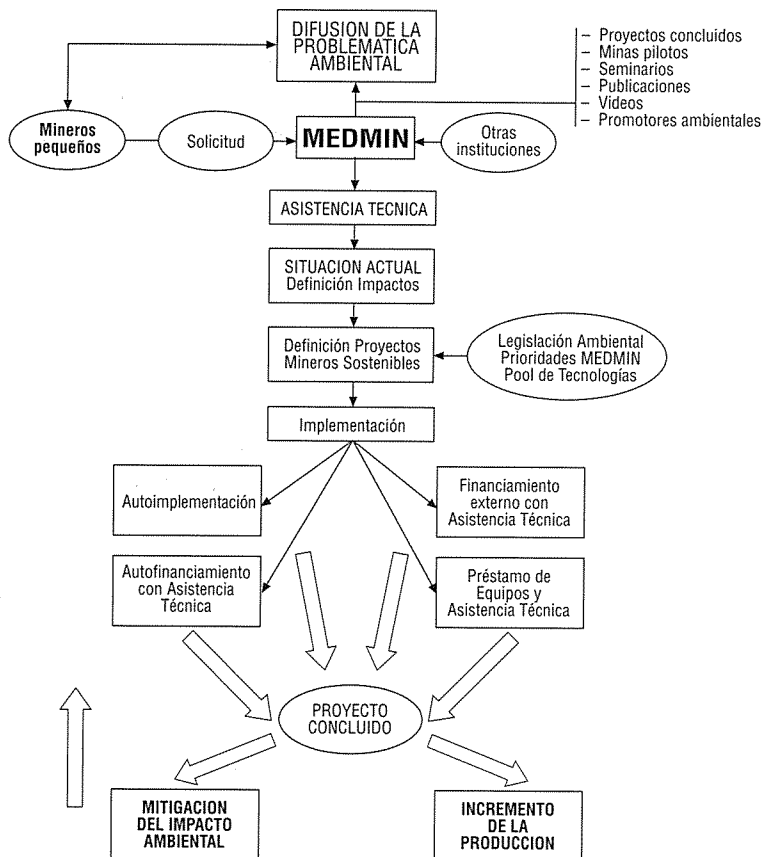
ILUSTRACIÓN 11
ORGANIGRAMA MEDMIN



7.1.2. Problemática del mercurio, soluciones y su difusión

Para lograr una mitigación sustancial de la contaminación ambiental, el proyecto MEDMIN en el campo técnico no ha repetido los estudios abundantes sobre los impactos ambientales, sino se ha dedicado principalmente a la implementación de medidas apropiadas. Las actividades técnicas del proyecto priorizan, después de un tiempo de experimentación y pruebas con diferentes métodos mejorados, la amplia difusión y ejecución de cambios tecnológicos. La estrategia de difusión e implementación de tecnologías está presentada en la Ilustración 12.

ILUSTRACIÓN 12
ESTRATEGIA DE DIFUSIÓN DE CONCEPTOS MEDIOAMBIENTALES
E IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS MEDMIN



7.1.2.1. *Caracterización de la pequeña minería aurífera en Bolivia*

En Bolivia, la pequeña minería aurífera comprende tanto la explotación de yacimientos primarios como secundarios, cada uno con sus características y problemas propios. Se estima que la producción anual excede las 10 toneladas métricas, y la población que vive de esta actividad alcanza a las 100.000 personas (mineros, sus familias y otra gente dedicada a actividades complementarias o periféricas).

La **pequeña minería aurífera aluvial** tuvo su auge en las décadas pasadas con la explotación de los ricos yacimientos de Tipuani. Luego, tuvo una notoria declinación por el natural agotamiento de sus depósitos. En la actualidad, la explotación está centrada principalmente en las cuencas de los ríos Tipuani y K'aka. Los mineros chicos, agrupados en cooperativas o pequeñas empresas, explotan depósitos en cauces de ríos antiguos o en plataformas y terrazas de ríos recientes. La gama de tecnologías varía desde operaciones manuales (trabajando manualmente con galerías los cauces antiguos o con pequeñas bombas de grava las playas de los ríos) hasta pequeñas y grandes mecanizadas (existen operaciones subterráneas hasta con 500 trabajadores, u operaciones en terrazas y playas de los ríos con equipo pesado, como tractores, retroexcavadoras, volquetas, etc., que mueven hasta 2.000 m³ por día). Estas operaciones grandes, por su tamaño, sobrepasan los límites de capacidad de inversión, que generalmente valen para la pequeña minería. Sin embargo, por su carácter (cooperativas), en Bolivia son reconocidas como parte de la pequeña minería. Como consecuencia de estas actividades, se generan numerosos impactos ambientales (emisiones de mercurio, turbidez de los ríos, alteración de los causes de ríos, erosión, etc.).

Por su parte, la **pequeña minería aurífera primaria** del oro ha cobrado más y más importancia en los últimos 10 años. Hoy día, existen alrededor de 100 cooperativas y pequeñas minas privadas operando en este sector, la mayoría de ellas localizadas en la región de la Cordillera Real. Existe una gama de tecnologías empleadas, desde las minas manuales y artesanales hasta las semimecanizadas con plantas de procesamiento de hasta 20 t.p.d. El número de pequeñas operaciones mineras sobre oro primario crece constantemente debido a la migración de antiguos mineros en busca de fuentes de trabajo, que provienen de la minería estañífera estatal (COMIBOL), cuyas operaciones han sido cerradas en la década del 80. De estas 100 operaciones, alrededor de 30 son mecanizadas y el resto trabaja manualmente.

Se estima que la producción de oro de la pequeña minería aurífera primaria alcanza a 5 toneladas por año, que representa una contribución muy importante para la economía boliviana. Las experiencias muestran que este sector aglutina a algo más de 30.000 personas. Esta importante actividad genera otras actividades periféricas (transporte, comercialización de oro, provisión de herramientas y otros insumos, servicios en talleres de todo tipo, etc.). Contrariamente, la explotación y beneficio de oro primario trae consigo numerosos impactos al medio ambiente local y de áreas circundantes, que tienen que ver, principalmente, con emisiones nocivas de mercurio en sus diferentes estados (líquido y vapor), y la contaminación de ríos con colas sulfurosas, lodos de rocas finamente molidas, derrame de combustibles y lubricantes.

7.1.2.2. *Procesamiento tradicional*

En este subtítulo se describe la situación tal como se presentaba **al inicio del proyecto**, aunque el manejo del mercurio ha cambiado sustancialmente por el trabajo de MEDMIN.

En la **minería aluvial**, dependiendo de la clase de yacimiento, las operaciones se diferencian tan sólo en el método de explotación (a cielo abierto y mecanizado en plataformas y terrazas y generalmente subterráneo y semimecanizado en cauces antiguos). Para beneficiar el oro, prácticamente el sistema empleado es el mismo, diferenciados sólo por las capacidades de tratamiento (mayor tonelaje en plataformas y terrazas y muy poco en cauces antiguos). El sistema de recuperación de oro es muy simple, consistente de una etapa de lavado y clasificación (mecanizada en plataformas y terrazas; manual y rudimentaria en cauces antiguos), y otra etapa de concentración en canaleta (desde la más primitiva cubierta con piedras de rodado, hasta algo más avanzada con rejillas de metal), que retiene solamente el oro grueso, arrojando el oro fino al río junto con las colas. El uso del mercurio se limita únicamente a la amalgamación del poco oro fino retenido por la canaleta. Finalmente, la amalgama es sometida a un quemado directo al ambiente para eliminar el mercurio y dejar libre el oro.

Aparte de la contaminación por el mercurio y sus efectos negativos en la salud de los mineros, existen otros impactos que sí son de consideración, como la alteración del curso de los ríos por el relleno con desmonte de rodados grandes; la lodificación de los ríos con arcillas provenientes del encape; y, por último, tal vez la más grave, la destrucción de playas fértiles y del paisaje mismo.

En general, las técnicas de procesamiento utilizados por el sector de la **pequeña minería aurífera primaria** muestran una gran variedad de técnicas individuales, que dependen especialmente de la situación financiera de los mineros y de sus conocimientos tecnológicos. La gama va desde la más primitiva (molinos de piedra), pasando por métodos que pueden encontrarse en “De Re Metallica” de Agrícola [66] (bateas, canaletas, jigs manuales, etc.), hasta equipos modernos que se diferencian muy poco de los utilizados por la minería sofisticada (mesas concentradoras, espirales concentradoras, centrífugas, etc.).

El método mas primitivo y simple de procesamiento en la pequeña minería aurífera primaria es el siguiente:

- selección manual de trozos de mineral con chispas de oro;
- trituración y molienda con un martillo manual;
- lavado del material molido utilizando una batea para separar el oro grueso;
- si el oro es fino, amalgamación manual del concentrado en batea;
- estrujado de la amalgama utilizando un paño fino para separar el mercurio libre;
- “queuma” de la amalgama al aire libre para evaporar el mercurio.

La última etapa la realizan sin ningún equipo para recuperar mercurio, y sin utilizar implemento de seguridad alguno contra los vapores de éste. Utilizan varias fuentes de calor, desde el carbón vegetal; sopletes a gas oil, gas propano o acetileno, hasta hornillas a querosén muy comúnmente utilizadas en las cocinas de los mineros.

Otro sistema de procesamiento, también rudimentario, utiliza una especie de mortero grande de piedra llamado “toloca” (piedra hueca y un bloque que se mueve en su interior), donde se muelen y amalgaman simultáneamente porciones pequeñas y ricas de material triturado, prescindiendo de una etapa adicional de amalgamación. En este proceso combinado, se produce mucho mercurio atomizado, que se pierde irremediabilmente en las colas durante el proceso de lavado en batea para separar la amalgama gruesa. Luego, la amalgama es tratada como se describió en el párrafo anterior.

Existen muchas variantes de las técnicas descritas y debido a que todas son manuales y discontinuas, solamente se pueden procesar cantidades muy pequeñas, alrededor de 20 a 50 kg de mena por día y hombre, dependiendo de la dureza del material. Frecuentemente, recurren previamente a una trituración y molienda gruesa en seco, utilizando el llamado

“quimbalete”, también de piedra, con el que se puede triturar y moler hasta unos 200 kg por día y hombre.

Un primer paso en el propósito de mecanización, constituye el uso del llamado “molino chileno” o “trapiche”. En este molino, el uso de mercurio es casi generalizado, para combinar molienda y amalgamación. Su régimen de funcionamiento produce excesiva atomización del mercurio. En general, después del molino chileno se utilizan placas amalgamadoras o una simple canaleta empedrada (tojilla), que sirven como trampas para retener el oro grueso libre y la amalgama. Obviamente, ni las placas, ni las canaletas empedradas sirven para garantizar una buena recuperación del oro libre, la amalgama y el mercurio atomizado.

En operaciones más grandes es común el uso de:

- pequeñas trituradoras de mandíbulas;
- molinos a bolas, desde 2' x 3' hasta 3' x 4', capacidades entre 5 a 15 tpd;
- canaletas empedradas, placas amalgamadoras, mesas concentradoras, etc.

Como en los molinos chilenos, también es casi común la adición de mercurio, a los molinos a bolas, con similar o mayor efecto de atomización del mercurio y como consecuencia las pérdidas de mercurio en polvo en la etapa de concentración son también considerables.^a

Las pocas minas que no usan mercurio en el molino (especialmente en yacimientos de oro grueso), amalgaman sus concentrados manualmente en bateas o en pequeños tambores amalgamadores. En estos últimos, si la operación es inapropiada (altas revoluciones, uso de mercurio en exceso, falta de una etapa de prelavado del concentrado, uso excesivo de medios molidores, uso de mercurio contaminado, tiempos largos de amalgamación, etc.) se producen cantidades elevadas de mercurio atomizado, perdiéndose luego en las colas de amalgamación.

Generalmente, la recuperación de oro en las plantas de procesamiento en las minas primarias es baja, debido a que parte del oro muchas veces

a Actualmente, en San Simón cerca de la frontera con Brasil, se utilizan molinos a martillos, seguidos por planchas amalgamadoras. Esta tecnología es muy ampliamente usada en Brasil. En estas plantas, el mercurio se echa a los molinos, con pérdidas excesivas de mercurio a las colas (hasta 2,5 kg de Hg para recuperar 100 g de oro). San Simón no se encuentra dentro del área original del proyecto. Para solucionar los problemas graves de contaminación, se ha decidido de ampliar las actividades futuras del proyecto a esta región.

no es recuperable con sus métodos rústicos de concentración gravimétrica o por amalgamación. Más aún si también se pierde oro liberado en las colas, especialmente oro fino y oro laminar (laminado en la molienda). Alguna parte del oro también se pierde debido a la insuficiente liberación. La combinación de molienda y amalgamación ocasiona altas pérdidas de pequeñas partículas de oro atrapadas en la harina de mercurio o bajo la forma de flóculos de amalgama-oro, que a veces contienen burbujas de aire o agua atrapadas. Estos flóculos, en general, tienen un peso específico relativamente menor y una gran superficie, por lo que son fácilmente arrastrados a las colas. La presencia de sulfuros (pirita, arsenopirita, etc., alrededor de 5-10 kilos de sulfuros por tonelada de material de veta) constituye un subproducto muy interesante, con contenidos de oro que varían entre 40-200 g/t, pero por desconocimiento de su valor generalmente no son recuperados y se pierden en las colas.

Las colas generalmente son desparramadas en áreas aledañas a la planta de procesamiento, o vaciadas a ríos próximos. La lodificación de los ríos provoca –tanto o más que la contaminación con mercurio o sulfuros– una fuerte disminución de la fauna acuática y, por consiguiente, confrontaciones justificadas con pobladores que viven aguas abajo y que consumen peces del río.

La emisión de sulfuros hacia arroyos o pequeños ríos, o su almacenamiento inseguro, produce, por oxidación, la generación de ácido sulfúrico y hierro en solución, con la consecuente disminución del pH, creando condiciones para la lixiviación de otros metales pesados (Fe, As, Sb, Zn, Cd, etc.), que son claramente detectables en los ríos.

Las emisiones de mercurio por la quema de amalgama al aire libre significan no solamente un problema ambiental sino también un problema de seguridad industrial. Normalmente, se evapora al ambiente alrededor de 500 a 1.000 gr de mercurio por kg de oro; la mayor parte del vapor recondensa y vuelve a precipitarse en las proximidades del área de quemado. Los mineros inhalan constantemente vapores de mercurio, exponiéndose en algunos casos a agudo envenenamiento por mercurio. Investigaciones médicas han reportado concentraciones elevadas de mercurio en la orina de los mineros y miembros de sus familias, que a veces desembocan en verdaderos casos clínicos. Las duras condiciones de vida de los mineros (nutrición deficiente, falta de higiene, ausencia de atención médica, alto consumo de alcohol, etc.), dificultan el claro establecimiento de la relación entre el uso de mercurio y los problemas de salud. Es todavía más difícil aún que los mineros

entiendan que el uso irracional de mercurio significa poner en riesgo la salud de las poblaciones asentadas en las riberas de los ríos.

El problema ambiental más serio constituye el uso de mercurio en circuitos de flujo abierto. El mercurio adicionado a diferentes tipos de molinos –por el régimen de funcionamiento de éstos-, se atomiza en “harina de mercurio”. La presencia en el material de alimentación de sustancias como grasas, aceite, aluminio y cobre provenientes de detonadores y cables eléctricos, minerales como el talco, etc., contaminan al mercurio, de modo que éste pierde su habilidad de unirse a otras esferitas para formar perlas de mercurio más grandes, disminuyendo ostensiblemente su capacidad de amalgamación. Una gran parte de la harina de mercurio se pierde por la dificultad de recuperarlo por cualquier método gravimétrico. Generalmente, en sistemas combinados de molienda-amalgamación en flujo abierto, se pierden de 5 a 10 kg de mercurio por kg de oro recuperado. Estas pérdidas son varias veces mayores a las ocasionadas por la quema de amalgama al aire libre. Otras fuentes de emisión de mercurio resultan del almacenamiento inseguro de las colas de amalgamación. La Tabla 26 muestra las emisiones, sus causas y posibles soluciones (en Bolivia la pequeña minería aurífera no utiliza aún la lixiviación cianurante en sustitución de la amalgamación).

TABLA 26
EMISIONES, CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES EN LA PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA PRIMARIA DE BOLIVIA

EMISIONES	CAUSAS	SOLUCIONES
Mercurio	Usos de Hg en circuitos de flujo abierto	Eliminación de la práctica de sistemas combinados de molienda-amalgamación, y de planchas amalgamadoras a través del mejoramiento de los métodos de concentración gravimétrica
	Quema de amalgamas al aire libre	Uso de retorta
	Almacenamiento inseguro de colas de amalgamación	Construcción de depósitos de colas seguros
Sulfuros	Uso de sistemas inapropiados de concentración gravimétrica	Mejoramiento de los métodos tradicionales de concentración gravimétrica
Sólidos gruesas y finos	Falta de almacenamiento apropiado de colas y tratamiento de aguas	Construcción de diques de colas y dispositivos para decantación de lamas, relleno de pozos explotados
Efluentes de aguas ácidas	Oxidación de sulfuros	Recuperación de sulfuros, ver arriba
Metales pesados	Procesos de lixiviación en la mina y los depósitos de colas	Recuperación de sulfuros, plantas de precipitación, lagunas artificiales con biomasa adsorbente.

Muchas veces por la situación económica crítica de la pequeña minería aurífera boliviana, es comprensible que el interés primario de los mineros no esté orientado al mejoramiento de las condiciones ambientales de sus operaciones. Muchos de los mineros cuya producción apenas cubre sus necesidades vitales, seguramente preferirán comprar un equipo de televisión o una motocicleta –si alguna vez disponen de algún margen de utilidad–, antes que invertir en protección ambiental. El control y la fiscalización estatal es deficiente o simplemente no existe, pese a que se encuentra en plena vigencia la Ley del Medio Ambiente y sus regulaciones correspondientes. Para cambiar las técnicas actuales de trabajo y hacerlas ambientalmente sanas, es necesario ofrecer a los mineros un “paquete completo” de asistencia técnica, orientado a sus necesidades específicas, como el mejoramiento de la producción y las condiciones de seguridad industrial, complementado con medidas ambientales.

Se ha buscado tecnologías no solamente ambientalmente limpias y económicamente apropiadas, sino que se enraizen en la cultura de la pequeña minería boliviana, en base de los siguientes requerimientos:

- el equipo o maquinaria, de ser posible, debe ser fabricado localmente;
- la tecnología debe ser técnicamente eficiente (más que la tradicional);
- tener costos de inversión y operación bajos;
- ser de manejo y mantenimiento simple y seguro
- ser durable y de amplia proyección futura;
- tener muy bajo impacto ambiental;
- no constituir una “bomba de tiempo” ambiental;
- tener aceptación sociocultural;

En el caso de Bolivia, por otras experiencias pasadas, por la variedad de yacimientos, diferentes posibilidades técnicas y financieras de los mineros, la gama de plantas de procesamiento o beneficio ya existentes, quedó claro, que el a veces preferido “modelo único de planta” o “planta móvil demostrativa” no funcionó. Por esto, se optó por la instalación de diferentes modelos de plantas fijas. En estas plantas se mejoraron sistemáticamente y adaptaron a cada requerimiento particular, una serie de técnicas unitarias, bastante conocidas en el medio, pero que fueron utilizadas por debajo de su potencial. En un sistema modular, estas pueden combinarse y ajustarse fácilmente a cada caso.

7.1.2.3. Técnicas mejoradas

Durante los dos primeros años del proyecto, los métodos y equipos que se describen a continuación, se probaron con los mineros en la práctica productiva diaria de sus plantas. Al mismo tiempo comenzó la fabricación de los equipos probados, recurriendo a talleres de metalmecánica locales, realizándose un seguimiento y control permanente de los parámetros técnicos de diseño. Durante el tercer año, se inició la fase de difusión de las técnicas mejoradas, con su aplicación en numerosas operaciones existentes y otras nuevas. Simultáneamente continuaron los trabajos de investigación para resolver problemas técnicos aún existentes. La introducción y divulgación de tecnologías limpias, son complementadas con la realización de cursos y talleres para los mineros, videos de enseñanza, guías técnicas, etc., donde se hace énfasis en la supresión del uso de mercurio en procesos de flujo abierto por ser el problema ambiental más crítico, y en la recuperación de los sulfuros acompañantes. Se optimizaron diferentes esquemas técnicos (flujogramas) de concentración gravimétrica, para lograr una buena recuperación de oro sin recurrir al proceso combinado de molienda-amalgamación. Fue mejorada la tradicional canaleta, como también el uso de mesas concentradoras, jigs y espirales concentradores, que ya habían sido empleados en muchas plantas de procesamiento de casiterita.

El punto de partida para el trabajo con los métodos de concentración gravimétrica fué la baja recuperación que se obtenía con los métodos tradicionales. Otro punto de interés para los mineros fue la reducción del alto consumo de mercurio, que representaba no solamente pérdida económica, sino también problemas de provisión de este insumo, especialmente en áreas remotas. Actualmente, la mayoría de los mineros de hecho están abiertos al cambio de sus sistemas de trabajo y a la introducción de técnicas limpias, al saber que esto les reportará una mayor recuperación (utilidad) a menor costo de operación. Los equipos pequeños, como tambor amalgamador, separadores hidráulicos en contracorriente para la separación de amalgama y sulfuros, retortas para la destilación de mercurio, completan los métodos de procesamiento promovidos por el proyecto.

Canaletas

Durante la investigación de las canaletas, se experimentaron con diferentes cubiertas frente al tradicional empedrado o “tojilla”. Se probaron

alfombras especiales, diferentes metales expandidos y diferentes combinaciones de estos dos, como también diferentes paños. Se pudo ver, que con cubiertas de textura fina, se lograba un flujo de pulpa menos turbulento, mejorando sustancialmente la recuperación de oro fino. Sin embargo estas cubiertas tienen como desventaja, la limitada capacidad de retención de pesados, por esto requieren lavados más frecuentes.

En la minería primaria, demostró ser muy útil la clasificación del material a la salida del molino, antes de las canaletas. Para esto se puede acoplar a la garganta de descarga del molino, una criba rotatoria de varias secciones, o también utilizar un hidroclasificador sencillo tipo spitzkasten. La recirculación del material grueso ($> 1 \text{ mm}$) al molino para lograr mas liberación reportó resultados positivos.

Las alfombras o cubiertas utilizadas (ver subtítulo 5.4.2.1.2) están disponibles en el mercado boliviano. Son de fácil lavado y muy durables. Probaron ser más eficientes que los paños de fabricación local (bayetas, frazadas de lana, etc.). Los intervalos de lavado varían usualmente entre 0.5 y 2 h, dependiendo fundamentalmente del contenido de sulfuros, que tienden a saturar las alfombras. La inclinación de las canaletas debe ser ajustada en operación, de modo que los sólidos de la ganga no sedimenten (generalmente entre 5 y 15 %). La recuperación del oro libre puede alcanzar hasta un 90 %, dependiendo del cuidadoso manejo del sistema. El oro muy fino y laminado y una gran parte de los sulfuros auríferos se pierden en las colas. Las principales ventajas de este método son: muy bajo costo de inversión, manejo simple (conocido), no requiere energía, y una buena recuperación.

Sus desventajas son: baja recuperación de sulfuros y necesidad de lavado frecuente. Especialmente lo último, que es particularmente muy sacrificado en invierno, cuando las temperaturas del agua se acercan a 0°C . Otra desventaja de la canaleta mejorada, es la necesidad de disponer de un tambor para amalgamar el concentrado. Algunas veces, cuando los volúmenes de preconcentrados son grandes, deben ser previamente enriquecidos en un segundo paso por la canaleta, o en una pequeña mesa concentradora o finalmente en bateas.

En la minería aluvial, se ha comprobado la buena recuperación de oro, especialmente del fino, utilizando alfombras del tipo “Nomad” de la 3M, a veces combinado con metal expandido. Por el bajo contenido de oro, el lavado de las alfombras una vez por día es suficiente.^a Al contrario de las

a Como se describió anteriormente, el uso de mercurio dentro las canaletas es muy raro. Por esto, el mejoramiento de las canaletas tradicionales tiene como objetivo principal el

rejillas altas de metal o de los pisos empedrados, se obtiene un concentrado bien enriquecido (contiene menos minerales pesados acompañantes en relación al oro recuperado), es decir menos carga para amalgamar.

Las canaletas mejoradas son rápidamente aceptadas por los mineros y han demostrado su capacidad de autodifusión, debido a que la recuperación que se logra es mejor que con los métodos tradicionales (canaletas empedradas o placas amalgamadoras en la minería primaria, canaletas empedradas o con rejillas metálicas altas en la minería aluvial), y el cambio al sistema mejorado se realiza con facilidad.

Jigs

En la minería primaria, las láminas de oro generadas en la etapa de molienda, irremediablemente se perdían en los sistemas tradicionales de recuperación y contribuían significativamente a las pérdidas de oro liberado. Para resolver este problema se introdujo el uso del jig tipo Denver, muy utilizado por años en la minería boliviana del estaño. Este se instaló en la descarga del molino, cerrando el circuito con un clasificador de espiral, una configuración por demás conocida en circuitos sofisticados de concentración gravimétrica [3]. De este modo, se puede recuperar no solamente la mayor parte del oro laminado, sino también una gran parte de los sulfuros auríferos, evitando una sobremolienda innecesaria. La única desventaja –si se puede llamar así– es que se requiere bastante entrenamiento de los operadores.

En la minería aluvial, no se ha probado el uso de jigs para la preconcentración, porque los resultados obtenidos con las canaletas mejoradas eran satisfactorias. Más bien se ha utilizado pequeños jigs tipo “Denver” para el enriquecimiento de preconcentrados antes de amalgamarlos, con muy buenos resultados.

Mesas concentradoras

A pesar de que en Bolivia, el uso de mesas concentradoras en las plantas de estaño era y es muy común, por lo tanto fáciles de adquirir, estas

aumento de la recuperación y la disminución de la cantidad de preconcentrados a obtenerse. Primero, una buena recuperación significa una buena utilización de los recursos no renovables (y más ingreso para los mineros); segundo, la disminución de la cantidad de los preconcentrados significa menos material para amalgamar, y como consecuencia menos colas de amalgamación contaminadas.

se utilizaban en muy pocas plantas de la pequeña minería aurífera. Las mesas concentradoras muestran buenos resultados en la recuperación de oro fino y de sulfuros acompañantes **en la minería primaria**, pero se pierde mucho del oro laminar, que pueden ser mejor recuperados con jigs. Las mesas concentradoras son utilizadas, para tratar el material en dos o tres fracciones de tamaño, después de una clasificación con un spitzkasten. Sus principales ventajas son: permite operación continua y su habilidad para recuperar sulfuros. En algunas operaciones, se utilizan mesas concentradoras para el enriquecimiento complementario de concentrados obtenidos en canaletas, reduciendo el volumen de material a amalgamar y consecuentemente minimizando la cantidad de colas de amalgamación contaminadas.

Espirales concentradoras

Se introdujeron diferentes tipos de espirales (MD LG7, MD WW6, etc.), para su uso como scavenger en la descarga de las colas de ingenios de la **minería primaria**. A pesar de que en las pequeñas operaciones, estas son utilizadas por debajo de su real capacidad (con solamente 0.5 a 0.8 tph), han mostrado muy buenos resultados en la recuperación de oro fino libre y sulfuros de las colas, que normalmente eran perdidos. Se ha demostrado que este equipo, instalado en las colas de un ingenio, puede auto amortizarse en pocos meses. Si bien su uso en la minería aluvial (especialmente donde existen otros minerales acompañantes pesados valiosos como casiterita) puede ser interesante, no se ha logrado implementarlos por la dificultad de clasificar grandes volúmenes de carga -2mm.

Tambores amalgamadores

La fabricación y difusión de tambores de amalgamación fue una actividad importante del proyecto. A poco tiempo de comenzar el mismo, pudo comprobarse que la idea de reemplazar completamente la amalgamación con otros métodos (como la flotación o la fusión directa de concentrados) no iba a prosperar, debido a que estos no eran tan simples y en general reportaban bajas recuperaciones. También y por razones ambientales, la introducción de la lixiviación por cianuración quedó fuera de toda consideración. Por lo tanto el proyecto tuvo que mejorar una técnica que en un principio trató de evitarse. Contrariamente al tradicional método de flujo abierto, la amalgamación en tambor cerrado es mucho mas seguro para el medio am-

biente. En este caso, solo se amalgama una cantidad relativamente pequeña de concentrado de alta ley. Con una operación cuidadosa, puede minimizarse la inevitable pérdida de mercurio atomizado en las colas (ver subtítulo 5.5.1.4)

Los tambores de amalgamación tienen amplia aceptación, porque su eficiencia es alta y la fuerza de trabajo requerida es menor frente a la utilizada por la amalgamación manual. Los tambores de amalgamación también evitan el contacto de la piel con el mercurio, y las pérdidas de este por atomización pueden reducirse hasta un nivel menor al 1% del mercurio utilizado. Sin embargo, existen concentrados sulfurosos (especialmente con sulfuros de arsénico, antimonio y bismuto), de minas primarias, difíciles de amalgamar aún utilizando tambor.

Separadores hidráulicos de corriente ascendente (Hidroseparador o Elutriador)

Se introdujo el uso de separadores hidráulicos de corriente ascendente (elutriadores), para separar la amalgama y el mercurio libre de las arenas después del proceso de amalgamación. La recuperación de amalgama y mercurio libre es generalmente mejor que con el método tradicional de batea, y su capacidad es varias veces más alta.^a

Retortas

La difusión del uso de retortas parecía ser la solución al problema de contaminación con mercurio en la minería aurífera a pequeña escala. Esto no es verdad, porque, como se mencionó mas arriba, las emisiones de mercurio, cuando se utiliza este en equipos de flujo abierto, pueden superar en muchas veces a las emisiones por la quema de amalgama al aire libre. Además de esta razón, existe la gran dificultad de promover su uso.

En algunos lugares de Bolivia, ya existían algunas formas rústicas de retorta (por ejemplo, algunas hechas de lámparas viejas de carburo), por lo que estas no eran completamente desconocidas. Sin embargo, los mineros tienen aversión a utilizarla por varias razones (ver subtítulo 5.5.5.1).

a Se ha comprobado, que con algunos materiales que contienen minerales acompañantes muy pesados (arsenopirita, casiterita, etc.), se tiene que aumentar bastante el flujo ascendente, para levantar estos minerales y llevarlos hacia afuera. Así se pierde también amalgama y mercurio fino. En este caso, las bateas mecánicas han dado mejores resultados.

A pesar de estos obstáculos, el proyecto pudo –sustentado por una fuerte campaña acerca de los riesgos de salud que implica la quema de amalgama al aire libre– promover el uso de la retorta, hasta un cierto grado. Se desarrollaron y optimizaron tres diferentes tamaños de retortas con capacidades de 300 g, 1 kg, y 3 kg respectivamente; corrientemente producidas por talleres locales (ver Foto 41)^a. De aproximadamente 60 retortas vendidas, al presente se encuentran en uso un 70 % de ellas; considerando los problemas de aceptación antes mencionados, esto constituye un relativo éxito^b.

La Tabla 27 muestra los procesos anteriores y los cambios efectuados en varias minas primarias en Bolivia. En el anexo 1 se muestran varios flujogramas de ingenios mejorados.

-
- a Los precios de las retortas, debido a la fabricación local, son bajos: 40 \$us para una retorta pequeña, 50 \$us para una mediana y 90 \$us para una retorta grande. También se producen quemadores a gas adecuados a bajo precio. Las retortas, por el uso frecuente (calentamientos y enfriamientos) no tienen una vida larga. Dependiendo del cuidado en su manejo, especialmente los crisoles se deforman y deben ser reemplazados cada cierto tiempo (después de utilizarlos entre 30 a 50 veces). Generalmente, las minas más mecanizadas tienen sus propios talleres (incluyendo torno) y fabrican sus repuestos.
 - b Se han vendido varias retortas grandes a cooperativas aluviales altamente mecanizadas. Aquí, las retortas son utilizadas diariamente y reducen significativamente las emisiones de mercurio. Con una sola retorta grande, utilizada en una cooperativa del Río K'aka, se ha podido recuperar en un año más de 300 kg de mercurio (vida del crisol: un mes). Las cantidades recuperadas por retortas de mercurio en la minería primaria (capacidad de molienda promedia: 15t/d) generalmente son más pequeñas. En estas, una vez por semana se queman hasta 2 kg de amalgama, recuperando alrededor de 50kg mercurio por año.

TABLA 27
RESUMEN DE LOS EQUIPOS Y PROCESOS ANTERIORES Y LOS CAMBIOS REALIZADOS POR MEDMIN
EN VARIAS MINAS PRIMARIAS AURÍFERAS EN BOLIVIA (AÑOS 1996/97)

	Mina/cooperativa	La Suerte	Yani	25 de Julio	Libertad	15 de Agosto	10 de Febrero	Virgen del Rosario	Huayna Sunchulli	Colapata	Fortaleza de S. Vicente	Zongo	Unión Ideal	Copacabana**	Ingenio Fortuna**	Ingenio Pallaya**
EQUIPO/MAQUINARIA																
Chancadora		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Molino a bolas		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Trapiche		X		X				X	X				X			
Quimbalete						X	X									
Toloka (mortero de piedra)				X		X										
Canaletas rústicas (tojilla)			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Canaleta con alfombras				X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Tromel (salida de molino)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Clasificador espiral		X	X								X					
Clasificador hidráulico		X				X				X	X	X				X
Batea (para preconcentrar)						X	X									
Jig		X				X				X	X	X		X		X
Mesa concentradora		X	X	X						X	X	X			X	X
Plancha amalgamadora		X	X	X								X	X		X	X
Espiral			X							X			X	X	X	
Tambor amalgamador		X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
Batea para separar amalgama		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hidroseparador de amalgama		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Retorta		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PROCESO																
Trituración		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Molienda		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Molienda con Hg (en circuito abierto)		X	X	X		X		X	X		X	X	X		X	X
Circuito de molienda con conc.		X	X	X	X					X	X			X		X
Amalgamación en plancha		X	X									X	X		X	X
Conc. grav. con canaletas rústicas			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Conc. grav. con canaletas optimizadas			X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
Conc. grav. con jig		X				X				X	X	X		X		X
Conc. grav. con mesas		X	X	X						X	X	X				X
Conc. grav. con espiral			X							X	X		X	X	X	X
Otros procesos de conc. grav.											X*					
Amalgamación manual de concentr.			X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
Amalgamación mecanizada de concentr.		X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X
Amalgamación en toloka			X		X											
Quema en aire libre			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quema con retorta		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Recup. sistemática de sulfuros auríferos		X	X	(X)		(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X	X	X	X	X
Deposición sistemática de colas gruesas		X	X	(X)	X	X	(X)		X	X	X				X	X

7.2. Brasil: Proyecto “Mercury Contamination from Gold Mining in the Tapajós and Madeira River Basins, Brazilian Amazonia”

7.2.1. Presentación del Proyecto

La Comunidad Europea financia en la amazonia brasileña un Programa de Asistencia Técnica, con los siguientes objetivos:

- diagnosticar los efectos de la contaminación causada por la minería aurífera
- estudiar y desarrollar mecanismos de mitigación de estos impactos.

El Proyecto comprende dos partes:

- Diagnóstico del impacto ambiental (implementación de laboratorios para el análisis químico de mercurio), a través del monitoreo de la contaminación e intoxicación en la población minera y población circundante, así como en la flora y fauna terrestre y fluvial.
- Desarrollo e implementación de tecnologías alternativas limpias, para una minería sin impactos ambientales o de impactos minimizados.

La minería aurífera existe desde hace siglos en la Amazonia brasileña, sobre todo a nivel artesanal, utilizando en general técnicas simples y transportables, que demandan costos de inversión mínimos. Estas condiciones han inducido a contingentes de brasileños a emigrar a la Amazonia en busca del preciado metal, unos, como medio de vida y otros, como fuente de fortuna. Este fenómeno se observa con mayor intensidad a comienzos de los años 80, cuando se produce la subida del precio del oro. Se estima que hoy en día hay cerca de 100.000 garimpeiros (pequeños mineros en Brasil) establecidos en esta vasta región. Este número es bastante variable, porque existen fluctuaciones estacionales (en una gran parte de la amazonia no se puede trabajar en la época de lluvias) y también debido a “corridas de oro” que pueden aumentar fuertemente –en un tiempo corto– el número de personas que se dedican a este trabajo.

Esta actividad masiva y descontrolada, si bien ha proporcionado ocupación y sustento a centenas de miles de brasileños, inevitablemente ha causado y sigue causando agresiones al medio ambiente, como la contaminación por el mercurio en sus diferentes formas (líquido y gas), el enturbiamiento de los ríos y la destrucción del paisaje amazónico. Los medios de comunicación en Europa muestran al garimpeiro como a un animal salvaje

que en su avidéz por el oro destruye la Amazonia y, con ello, a los últimos indígenas de la región.

En cambio, en el Brasil en los últimos años se ha formado y mostrado una imagen diferente del problema, aunque en el pasado reciente se suscitaron con frecuencia conflictos entre la minería informal (garimpagem) y la minería formal (mediana y grande), por lo cual el gobierno brasileño intentó suprimir la actividad minera informal. Este sector, finalmente ha encontrado el respeto general que merece, porque el garimpagem constituye una válvula de escape para la problemática social que representan los miles de desocupados y desposeídos existentes en el país, además de que la producción de oro que genera, estimada en 50 toneladas al año tiene un efecto vitalizante para la economía local y nacional, aspecto que no se puede desconocer ni desestimar.

Muchas ciudades y poblados de la Amazonia, como Santarem, Itaituba, etc., dependen en gran parte de esta importante actividad económica, y muchas compañías industriales del desarrollado sur del Brasil venden su producción de maquinaria e insumos a una gran parte de la minería informal. Se estima que la población dependiente directa o indirectamente del garimpagem oscila entre 1 y 2 millones de personas.

Aunque los partidarios de la gran minería se resisten a aceptar esta realidad, saben que hay una enorme cantidad de yacimientos en la Amazonia que no son aptos para operaciones de explotación a gran escala y que solamente pueden ser explotados por el sistema del garimpagem, en el cual los garimpeiros resultan a veces más explotados que el propio yacimiento.

Desde hace años las grandes compañías mineras realizan labores de exploración en el área del Tapajós, sin que hasta la fecha se haya encontrado un yacimiento de magnitud. La comprensión de la importancia del garimpagem y de la imposibilidad de sustituirlo ha cambiado la actitud de la política estatal y federal que comenzó por tratar de reprimir, pasando luego por el “dejar hacer dejar pasar”, hasta preocuparse finalmente por fomentar y controlar este tipo de minería. En esta nueva política, junto a los aspectos de carácter legal y fiscal, la protección del medio ambiente adquiere un rol de preponderante importancia. No solamente las instituciones del Estado y la población afectada, sino también los mismos garimpeiros comienzan a tomar conciencia de los problemas ambientales, por lo que es importante impulsar y fortalecer esta actitud con proyectos como el que nos ocupa.

Sería un error, aunque el título del Proyecto (“Proyecto Mercurio”) parece sugerirlo, concentrar esfuerzos simplemente en la implementación

de técnicas limpias en relación al uso del mercurio. Un tema tan complejo como el del impacto ambiental producido por la minería aurífera informal, solo se puede solucionar de una forma integral, puesto que las emisiones de mercurio, destrucción del paisaje y enturbiamiento de los ríos son expresiones parciales del problema fundamental: el descuido de este sector –durante décadas–, visible por la ausencia total de asistencia técnica y la falta de un fomento racional.

El cambio de signo monetario del cruzeiro al real ha significado, por su relación con el dólar, prácticamente un 100% de incremento en los costos de operación, por lo que al presente muchas operaciones están a punto de cerrar, con las consecuencias sociales previsibles para la región.

Debido a las consideraciones anteriores, cualquier proyecto dirigido al problema ambiental debe comenzar preocupándose primero por prestar al garimpeiro la asistencia técnica necesaria, que le permita superar esta crisis, para luego encarar paralelamente los problemas de impacto ambiental. El abandono total por parte del gobierno ha creado en los garimpeiros un ambiente de desconfianza difícil de superar, por lo que la estrategia del presente Proyecto en su primera fase consistirá en recuperar la confianza de éstos, empezando a trabajar estrechamente con un equipo de trabajo, enfocando sus problemas de modo integral (desde la exploración y explotación, hasta el beneficio y la obtención final del oro).

En el presente capítulo, se presenta un análisis de los problemas esenciales de la pequeña minería informal de esta región, planteando soluciones y describiendo las acciones desarrolladas y a desarrollarse.

7.2.1.1. Área de trabajo

La región aurífera del Tapajós está enclavada en plena Amazonia brasileña, Estado de Pará. En esta área existen miles de operaciones dispersas que, en su gran mayoría, trabajan con el sistema monitor-bomba de grava-canaleta (caixa), en yacimientos eluviales y aluviales. Existen pocas minas que dispongan de maquinaria pesada (tractores, retroexcavadoras, etc.).

Las operaciones con el sistema monitor-bomba de grava-caixa son extremadamente móviles, desplazándose frecuentemente con el frente de explotación siguiendo las partes ricas del yacimiento. En la zona actualmente todavía existen pocas operaciones de explotación sobre yacimientos primarios; se estima que en un futuro próximo el número de éstas se incrementará considerablemente, debido a la potencialidad que parece tener la región.

El alcance del Proyecto sólo involucra lo concerniente a la minería aluvial y eluvial, por constituir en el momento la actividad más importante. Una próxima fase deberá considerar e incluir en su plan de acción la asistencia técnica al otro tipo de minería. El impacto ambiental de una operación sobre yacimiento primario, cuando se utiliza mercurio en la etapa de molienda, puede superar en muchas veces a la contaminación provocada por la minería aluvial.

Antes de la ejecución de la primera fase técnica del Proyecto, en mayo de 1995, el área de trabajo no se había definido aún, debido fundamentalmente a dificultades políticas. En una serie de reuniones posteriores con el DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral), la AMOT (Associação dos Mineradores de Ouro do Tapajós) y el SEICOM (Secretaria de Indústria, Comércio y Mineração) del estado de Pará, luego de comparar antecedentes técnicos y logísticos de las diferentes alternativas disponibles, finalmente se seleccionó por consenso al garimpo de Piririma como área piloto.

La selección de esta área y del equipo de trabajo se basó en los siguientes criterios:

- operación típica de la zona
- facilidades de acceso (aire y río)
- existencia de trabajos previos realizados por universidades y otras instituciones afines (DNPM, CETEM, universidades, etc.)
- la tecnología empleada en el área de Piririma, al estar catalogada en un nivel algo superior en relación al común de los garimpos de la Amazonia, le sirve al Proyecto para delinear una estrategia de saltos cualitativos progresivos y sucesivos en Piririma en particular, y en el garimpagem en general.

El propietario del garimpo de Piririma es un personaje notable en el campo del garimpagem: fue Presidente de la Asociación de Sindicatos de Garimpeiros de la Amazonia Brasileña y cuenta, además, con el apoyo de un grupo humano muy selecto y experimentado en explotación aurífera.

7.2.1.2. Organizaciones involucradas

- **Comunidad Europea (CE)**

La CE financia el Proyecto e ICON (IC Consultants, London) es la entidad ejecutora, con apoyo de Projekt-Consult GmbH de Alemania, responsable de la parte técnica del Proyecto.

- **Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM)**
El DNPM es la autoridad federal de minería en el Brasil, la contraparte más importante del Proyecto en la parte técnica.
- **Secretaría de Indústria, Comercio y Mineração (SEICOM)**
SEICOM es la autoridad estatal de minería en el Estado de Pará.
- **Secretaría de Ciencia, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM)**
SECTAM es la autoridad estatal del Medio Ambiente en Pará.
- **Associação dos Mineradores de Ouro do Tapajós (AMOT)**
Es la federación local de dueños de garimpos.
- **Município de Itaituba**
El municipio de Itaituba está ligado a las actividades del Proyecto por intermedio de su Secretaría de Minería y Medio Ambiente.
- **Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)**
CETEM es el instituto de investigación minera federal, con sede en Río de Janeiro.

7.2.2. Minería aluvial: cambios y soluciones integradas

Partiendo del hecho de que para los garimpeiros brasileños el medio ambiente y las posibles medidas al respecto son un lujo, y que está en un nivel bajo en la escala de prioridades, el Proyecto intentó desarrollar un paquete técnico para encontrar soluciones. El objetivo era satisfacer las necesidades más urgentes del grupo meta e introducir los conceptos medio ambientales de la legislación minera brasileña.

Durante este procedimiento no solamente se tuvo que modificar los pasos independientes del proceso de producción, sino aspirar en lo posible a una mejora completa e íntegra del ciclo de producción y beneficio.

En el sentido de la estrategia arriba mencionada, los trabajos técnicos del proyecto tenían que enfrentar al comienzo un análisis de los problemas, tanto para los aspectos técnicos y económicos, como para el aspecto ambiental. Los problemas mineros más importantes de los garimpeiros eran los siguientes:

- la preparación de los nuevos barrancos de explotación, que en muchos casos son de muy bajo contenido y no justifican su explotación; así, de un trabajo que ha demorado hasta tres semanas, no se obtiene ningún resultado;
- Una planificación deficiente de la explotación debido a la falta de datos confiables; a menudo las futuras áreas de explotación han sido tapadas por colas y desmontes;

- poca recuperación de oro en las canaletas tradicionales (especialmente del oro fino).

Como consecuencia de lo anterior surgen problemas ambientales serios que requieren de acciones inmediatas para subsanar la situación:

- destrucción innecesaria de suelos y vegetación al preparar los lugares de explotación
- mala utilización de las reservas debido a una planificación deficiente de la explotación y la recuperación del oro
- pérdidas altas del mercurio en forma de mercurio metálico debido a su aplicación en la canaleta (amalgamación en circuito abierto). Adicionalmente se emiten vapores de mercurio al destilar la amalgama
- enturbiamiento de los ríos
- aguas residuales estancadas, que se convierten en criaderos de mosquitos transmisores de enfermedades tropicales (como el anopheles).

Para enfrentar estos problemas se desarrolló un paquete, compuesto por las siguientes soluciones individuales: una técnica simple de perforación para la prospección de nuevas áreas de explotación y una evaluación estadística de los resultados de perforación (ver foto 54); planificación de la explotación, incluyendo el relleno de las áreas explotadas (ver foto 55); canaletas mejoradas; una etapa adicional de enriquecimiento de los preconcentrados; amalgamación controlada de los concentrados (en circuito cerrado); destilación de las amalgamas en retorta.

La siguiente tabla muestra una serie técnicas individuales, las técnicas tradicionales reemplazadas por ellas, las repercusiones que tienen estas innovaciones en el aspecto técnico y económico, así como los resultados obtenidos en el medio ambiente (Tabla 28).

TABLA 28
CAMBIOS TECNOLÓGICOS DEL PROYECTO MERCURIO

TÉCNICA	MÉTODO TRADICIONAL	IMPACTO AMBIENTAL	MÉTODO OPTIMIZADO	EFFECTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE
Prospección	los garimpeiros ubicaban una nueva área de explotación sin datos geológicos, cortaban los árboles, removían el suelo y abrían grandes huecos (en dos o tres semanas de trabajo), para verificar la bondad del material aurífero. Dependiendo del resultado, seguían con el trabajo en este lugar o lo abandonaban	- corte innecesario de árboles - lagunas artificiales que luego se convierten en criaderos de mosquitos (malaria)	se realizan perforaciones en el área con un método manual sencillo para sacar muestras, que se analizan luego de una concentración en batea, realizando un conteo de partículas de oro de diferentes tamaños. En base al número de partículas de cada rango, se calcula el contenido de oro en el área perforada y se define si su explotación es viable	- se delimitan áreas con contenidos aptos para la explotación, con un muy reducido impacto ambiental - vegetación y suelo permanecen intactos en áreas no rentables
Canaletas (concentración)	los garimpeiros utilizaban canaletas rústicas: para mejorar la recuperación de oro fino vertían mercurio en la canaleta o directamente al suelo, para amalgamar en circuito abierto	altas emisiones de mercurio, combinadas con pérdidas de oro fino y amalgama	canaletas optimizadas ayudan a recuperar el oro fino sin utilizar mercurio en esta etapa	las emisiones de mercurio líquido y amalgama al medio ambiente en la etapa de preconcentración (representan la mayor parte de las emisiones de mercurio) son eliminadas completamente
Amalgamación	la amalgamación de preconcentrados gravimétricos se efectuaba dentro de las canaletas en forma rústica con una cantidad alta de concentrados y mercurio y un flujo abierto de agua	emisiones de mercurio, combinadas con pérdidas de oro fino y amalgama	una etapa de enriquecimiento con una pequeña canaleta adicional (cobrinha) permite producir poco volumen de concentrado de alta ley, que se amalgama después en un proceso cerrado (en un balde)	las emisiones de mercurio líquido y amalgama al medio ambiente en la etapa de la amalgamación son reducidos al mínimo: las colas de amalgamación en balde con la poca cantidad de mercurio que queda en ellas, se pueden depositar en un hueco de tierra arcillosa
Separación oro-mercurio	los garimpeiros quemaban la amalgama al aire libre. En la mayoría de los casos, este proceso se efectuaba cerca o dentro de las viviendas de los mineros	- emisiones de vapor de mercurio - intoxicación de los garimpeiros y sus familias con mercurio metálico	el uso de retortas permite recuperar el mercurio en un proceso cerrado, para su posterior reutilización	emisiones de vapor de mercurio son reducidas casi completamente
Relleno del terreno, decantación de aguas	los garimpeiros generalmente vaciaban las colas a los ríos	- enlodamiento de los ríos - cambios en el curso de los ríos - lagunas residuales	una planificación de la explotación en base al nuevo método de prospección permite no sólo trabajar más económicamente, sino también rellenar pozos explotados y decantar las aguas antes de reusarlas o vaciarlas a los ríos	- las emisiones de sólidos finos y gruesos a los ríos son reducidos - el terreno es parcialmente restaurado

El método mejorado

Utilizar un sistema barato, fue el principio básico para el trabajo con canaletas (“caixas”) mejoradas, muy conocidas y por esto con alta posibilidad de difusión. Por las condiciones especiales en la selva, la falta de infraestructura, la alta movilidad de las operaciones, no se ha optado por probar otros equipos mecánicos sofisticados. Sin embargo, en conversaciones previas efectuadas con los mineros, estos manifestaban claramente que ellos tampoco aceptarían ninguna otra solución costosa, complicada o que requiera energía.

En los lavaderos del “garimpagem”, el punto de partida nuevamente fue la baja recuperación de oro fino en sus canaletas tradicionales, que trabajan con rifles altos de madera sobre un piso alfombrado. Estos rifles producen alta turbulencia provocando pérdidas altas de oro. Las buenas experiencias con canaletas sin rifles o rejillas en la minería primaria (ver capítulo 5.4.2.1.2), han sido la base para experimentar con canaletas de poca turbulencia. Trabajando en directa y estrecha colaboración con los garimpeiros, se experimentaron en el piso de las canaletas con varios tipos de alfombras, combinando algunas veces con metal expandido.

Las pruebas comparativas entre las canaletas mejoradas y las tradicionales, solo fueron posibles con una instalación en paralelo, que permitía la realización simultánea de pruebas compartiendo la misma alimentación (ver Foto 29). Como la naturaleza y calidad de la alimentación es intrínseca y difícil de influenciar, los parámetros para optimizar las canaletas fueron: ancho, largo, inclinación, tipo de cubierta del piso y número de estos, y el tiempo de los intervalos de lavado. Primeramente se evaluaron los resultados de las pruebas comparativas en paralelo entre las canaletas mejoradas vs canaletas tradicionales. Para eliminar errores de distribución de la alimentación, se realizaron ensayos duplicados, cruzando en la instalación gemela los materiales de los pisos y su inclinación. La instalación en zigzag vertical frena la velocidad de la pulpa; además de que los choques de la pulpa en cada vuelta ayudan a limpiar la cubierta de arcilla las piedras.

Debido a que la toma de muestras representativas en un sistema de canaletas alimentadas por una bomba es casi imposible durante su operación, las colas fueron acumuladas en un barranco viejo, para luego evaluarlas obteniendo muestras por perforación sistemática del depósito de colas. El ensaye de las muestras y el tratamiento estadístico de los resultados dieron el contenido promedio de las colas. La producción obtenida en los ba-

rancos explotados y la ley de colas permitieron realizar el balance metalúrgico correspondiente. De este modo se pudo comprobar, que con las canaletas mejoradas cubiertas solo con alfombra (Multiouro liso de Sommer, Sao Paulo), se ha podido recuperar más del 90% del oro^a. La granulometría del oro era bastante fina ($65\% < 250 \mu\text{m}$, $32\% < 125 \mu\text{m}$). Sin embargo, la poca presencia de minerales acompañantes pesados en el yacimiento ($< 1\text{kg}$ de arena negra o esmeríl por m^3), favorece la alta recuperación.

Para enriquecer los concentrados, se ha utilizado una canaleta pequeña (llamada *cobrinha*, ver Foto 30). Con esta operación se ha podido reducir la cantidad de concentrado desde aproximadamente 50 kg hasta 5 o 7 kg (operación que normalmente se realiza cada dos días), repasando el material dos o tres veces, con muy pocas pérdidas de oro^b.

Luego este pequeño volumen de concentrado se ha amalgamado en un simple balde, utilizando la cantidad mínima necesaria de mercurio. Por su facilidad de amalgamación este material requiere poco tiempo de contacto y una acción suave, produciendo pérdidas mínimas de mercurio en las colas. La amalgama separada de la arena negra mediante una batea, fue quemada luego en una retorta de fabricación brasileña.

Se ha podido demostrar, que con canaletas mejoradas, que además son altamente aceptadas por los *garimpeiros*, se puede recuperar eficientemente oro fino aluvial, sin recurrir al uso de mercurio en flujo abierto.

Por los buenos resultados y los cambios mínimos que requiere la conversión del sistema antiguo al mejorado, este se ha difundido rápidamente en la región, antes del inicio de una campaña formal de difusión.

Trabajo para el futuro

El proyecto por diferentes razones, tuvo sólo un año de trabajo técnico en el campo. Este tiempo, solamente ha permitido atacar los problemas de un cierto tipo de minería de la región. Aparte de las operaciones en le-

a En base a estos resultados, se utilizan el mismo tipo de alfombras en algunas dragas que trabajan en el Río Caroní de Venezuela, con muy buenos resultados.

b El uso de la *cobrinha* es nada nuevo para los *garimpeiros*. Especialmente los *garimpeiros* viejos se recuerdan bien a los tiempos de la década de los años 60, donde el uso del mercurio no era común (especialmente porque era difícil de conseguir y muy caro), y donde su operación era de pura gravimetría (*caixa - cobrinha - batea*)

chos y playas de ríos, existen otros dos tipos de operaciones, con problemas ligeramente diferentes como las operaciones en terrazas altas o yacimientos eluviales-saprolíticos; o muy diferentes, como las operaciones en minas primarias. Para estos, no se han podido desarrollar e implementar soluciones. Por el agotamiento de los yacimientos en los ríos, los mineros buscan otros e incursionan más y más hacia los yacimientos eluviales y primarios. En estos yacimientos, el uso de mercurio en flujo abierto (en yacimientos eluviales y terrazas altas “montañas”: uso del mercurio en situ y en las caixas; yacimientos primarios: uso del mercurio en los molinos a martillos, en amalgamadores tipo “jackpot” y en planchas amalgamadoras) es general, con pérdidas excesivas de mercurio. Existe la necesidad urgente, de dedicarse a esta problemática nueva en el área.

Finalmente, se debe recalcar que el éxito del proyecto depende sobre todo de la dinámica propia, por la cual se han difundido estas técnicas. La difusión, mayormente se llevó a cabo sin apoyo externo y solamente copiando las soluciones probadas y exitosas. En el caso especial de la técnica de prospección, se tiene formado un grupo independiente de consultores (conformado por ex-miembros del equipo de trabajo de garimpeiros), que realiza evaluaciones de los resultados de perforación para otros garimpeiros y empresas interesadas. Esta debe ser una prueba de que las “win-win-options” como soluciones a los problemas ambientales pueden ser implantadas voluntariamente por los mineros –también informales–, que están abiertos a innovaciones.

7.3. Ecuador: Proyecto Minería sin Contaminación (PMSC) Estudios colectivos de impacto ambiental

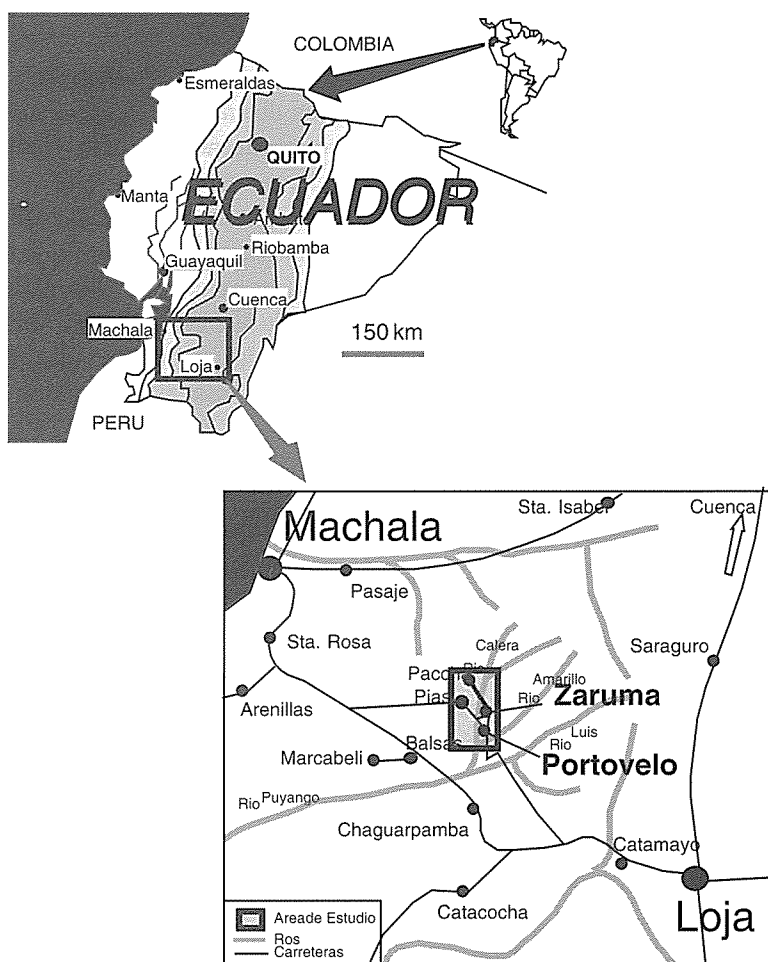
7.3.1. Presentación del Proyecto

En el Ecuador la pequeña minería, que en su mayoría es minería aurífera, agrupa a mineros artesanales, sociedades, cooperativas y empresas mineras (compañías) que se dedican a labores de explotación y beneficio mineral, vinculando directa o indirectamente a unas 100.000 personas.

Desde abril de 1993, la Fundación CENDA (112), con el asesoramiento de la firma consultora Projekt-Consult GmbH, y con financiamiento de la “Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación” (COSUDE) ejecuta el proyecto: “Minería sin Contaminación” (PMSC); actualmente el mismo se

encuentra en su segunda fase de operación, hasta 1999. Este proyecto tiene carácter piloto y pionero en dos aspectos: es el primer proyecto ambiental para el sector minero, que la COSUDE financió, y es el primer proyecto minero en el Ecuador dirigido a la minimización práctica de la contaminación ambiental por la pequeña minería aurífera. El proyecto busca lograr su objetivo, aplicando una estrategia de equilibrio entre economía y ecología, mediante asistencia técnica a los mineros, concientización de la población y control ambiental en coordinación con las autoridades.

ILUSTRACIÓN 13
UBICACIÓN DE LA REGIÓN ZARUMA/PORTOVELO



La región del proyecto (Zaruma-Portovelo) y su problemática ambiental

Zaruma y Portovelo, dos comunidades que forman la región con mayor tradición minera en el Ecuador, se encuentran ubicadas en la provincia de El Oro, al suroeste del Ecuador. La región se localiza en las estribaciones occidentales de la cadena montañosa andina, con una altitud entre los 600 y 1600 metros sobre el nivel del mar. Hidrográficamente, se encuentra en la cuenca de los ríos Puyango-Túmbez, con ríos tributarios como el Amarillo, Calera, Luis y Ambocas, que forman el río Pindo-Puyango-Tumbez, que luego de pasar la frontera con Perú desemboca en el Pacífico.

Esta región se caracteriza por sus complicaciones ambientales (113), mineras (114), técnicas (115), sociales (116), y legales; zona en la cual de no tomarse medidas correctivas podría en un futuro inmediato afectar a importantes sectores económicos y sociales del Sur del Ecuador y Norte de Perú (117). Ejemplos son: El uso de las aguas altamente contaminadas para fines de riego y consumo humano en la zona semidesértica en la frontera entre Ecuador y Perú, y la contaminación de los afluentes y aguas marinas de la industria camaronera en la costa pacífica del Ecuador.

El grupo meta del proyecto

De acuerdo con la organización socioeconómica (116) se puede agrupar a las personas dedicadas a la minería en:

- **Mineros artesanales:** son los que explotan los filones de oro en las minas (informales), y quienes alquilan las plantas de beneficio para moler su mineral. Ellos controlan el proceso de amalgamación y recuperan el oro amalgamable.
- **Mineros medianamente organizados:** agrupados en empresas, sociedades o asociaciones de hecho o derecho. Estos grupos generalmente se dedican a la explotación de los filones en las minas, y al beneficio mineral. Son grupos económicamente más sólidos (estos grupos mineros en su mayoría son legalizados, pero también existen algunos de carácter informal).
- **Dueños de instalaciones de beneficio mineral:** constituyen un grupo que ofrece al minero artesanal, en forma “gratuita”, los servicios de molienda de mineral, obteniendo a cambio los relaves de la molienda

para cianurarlos y así recuperar los gastos de molienda y obtener sus ganancias (una gran mayoría de los dueños de instalaciones mineras son informales).

- **Empresas mineras organizadas:** éstas son pocas en la zona, y trabajan con tecnología adecuada para la explotación y beneficio mineral (estas empresas operan en forma legal).

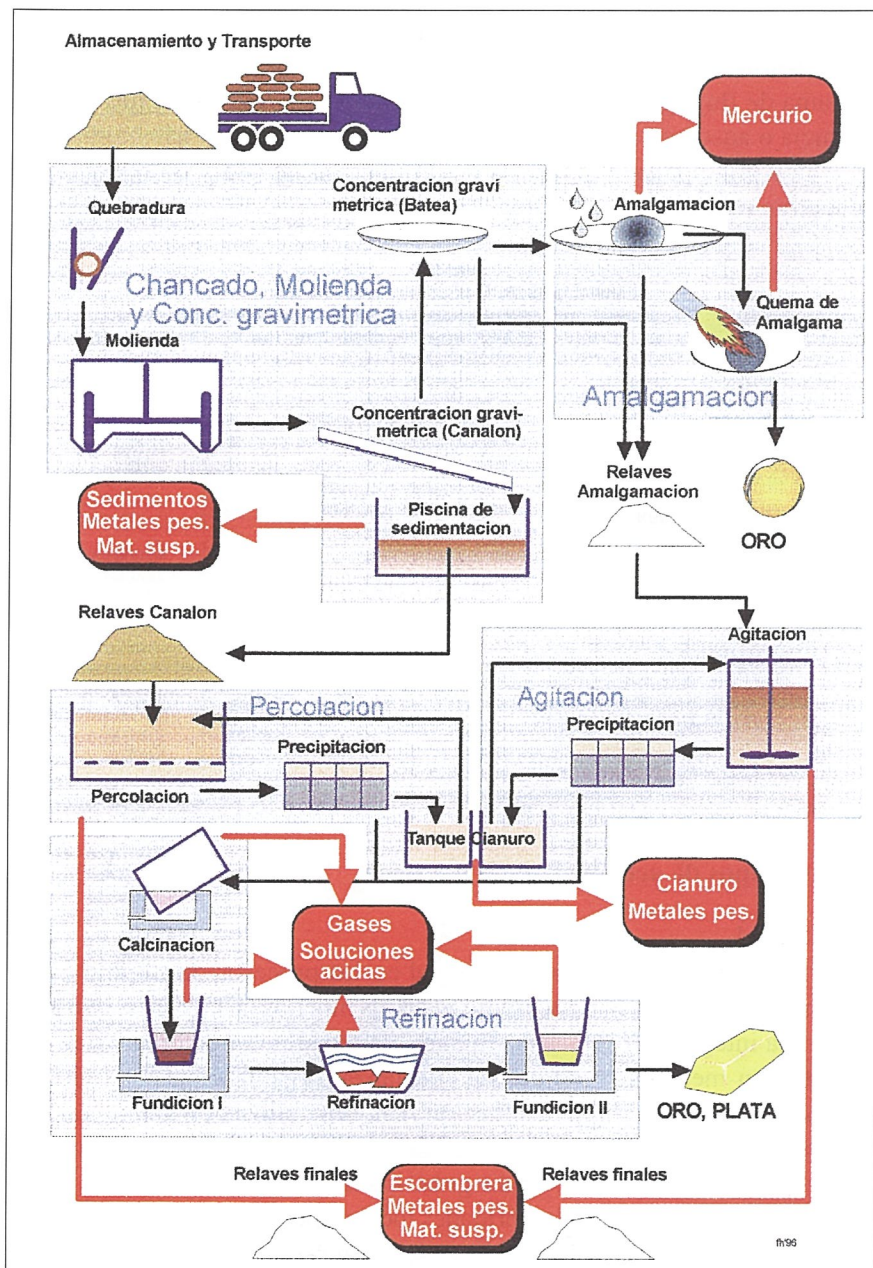
La contaminación ambiental es provocada principalmente en las instalaciones de beneficio mineral (molinos, plantas, ingenios). Los propietarios de las instalaciones (grupos 2, 3 y 4) constituyen por lo tanto el grupo meta principal. El proyecto mediante el plan ECO+ se dirige directamente hacia ellos. Paralelamente y debido a la contaminación por mercurio, el proyecto también enfoca a los mineros artesanales (grupo 1), mediante medidas de concientización y exigiendo de los propietarios de las instalaciones la adecuación de áreas para la amalgamación.

Niveles de producción y contaminación

El proceso de beneficio mineral en la región consiste por lo general en las siguientes etapas:

- trituración y molienda
- concentración gravimétrica en canalones
- amalgamación del concentrado
- cianuración de los relaves por percolación o agitación
- fundición y refinación.

ILUSTRACIÓN 14
DIAGRAMA DE FLUJO GENERALIZADO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN LA REGIÓN ZARUMA/PORTOVELO



Las instalaciones se caracterizan por diferentes combinaciones de los módulos indicados, lo cual permite una clasificación de las instalaciones según sus diagramas de flujo. En total, se identificaron nueve diferentes combinaciones (o diagramas de flujo). Todas ellas se enmarcan dentro del diagrama de flujo generalizado en la Ilustración 14, y se distinguen por la presencia o ausencia de uno u otro componente (118, 119).

Los principales parámetros de producción de oro y de residuos se encuentran resumidos en la Tabla 29.

TABLA 29
PARÁMETROS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES

PROCESO DE MOLIENDA Y CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA	
número de unidades de molienda	150 (estimado)
toneladas diarias por unidad de molienda	10 t/d
toneladas procesadas/día (molienda)	1500 t/d
oro recuperado por tonelada	10 gr/t
producción de oro/día	15 kg/d
producción anual de oro	4.000 kg/a
PROCESO DE CIANURACIÓN	
toneladas cianuradas/mes	40.000 t/mes
oro recuperado por tonelada de arena	5-6 grs/ton
producción de oro/mes	200 kg/mes
producción de oro/año	2.400 kg/a
RESIDUOS AMBIENTALES	
producción de relaves (en forma de sólidos en suspensión, sedimentos, y relaveras)	480.000 t/a
sulfuros de metales pesados en los relaves	35.000 t/a
mercurio	7.000 kg/a
cianuro	6.000 t/a
otros reactivos químicos	

Campos de acción

Social

La participación de la comunidad en los procesos de cambio es de vital importancia para la sostenibilidad de los mismos de tal forma que para lograr una integración social se requiere actividades complementarias que consisten en medidas creadoras de confianza, organización comunitaria, información objetiva sobre la situación real, sensibilización ambiental, involucrar a profesionales de la salud, utilización de los medios de comunicación, etc. Estas actividades son dirigidas hacia:

- Grupos no involucrados (autoridades locales, líderes, grupos ecológicos) o involucrados indirectamente (mujeres, niños) en la minería, con la

finalidad de que sean ellos, quienes a mediano y largo plazo tomen el papel de liderazgo en la protección de *su* medio ambiente, y *su* salud.

(Ejemplos de actividades: Concursos y premios ecológicos, Programa comedor infantil, Programa orfebrería, Difusión de materiales informativos (publicaciones mensuales, videos, exposiciones, seminarios, campañas radiales), Acciones conjuntas con el Ministerio de Salud, etc.)

- A los mineros para que sean ellos quienes mejoren las condiciones técnico-mineros y de salud en sus lugares de trabajo.

(Ejemplos de actividades: Programas de salud ocupacional conjunto con otras ONG's y OIT, Difusión de manuales de seguridad, Difusión de publicación mensual "Boletín Minero", Programas de radiodifusión, etc.)

Técnico-ambiental

Las actividades en el campo técnico promueven cambios en el manejo ambiental mediante la implementación y difusión de técnicas ambientales adaptadas a las condiciones locales, capacitación, e incentivos legal-administrativos (Plan ECO+; ver subtítulo 7.3.2). Además, se incluyó un elemento de control y auditoría ambiental (cumplimiento de los planes de manejo ambiental).

(Ejemplos de actividades: Plan ECO+ estudios colectivos de impacto ambiental y plan colectivo de manejo ambiental; implementación de técnicas para la mitigación de emisiones de mercurio, metales pesados, sólidos en suspensión, cianuro, gases de fundición y refinación, polvo, ruido, etc.; estudio de factibilidad de postprocesamiento y descontaminación de arenas cianuradas (120); ordenamiento espacial y creación de áreas verdes; etc.).

Institucional

Las actividades en el campo institucional están dirigidas hacia dentro y fuera del proyecto. Al interior del proyecto se busca profundizar el fortalecimiento de la contraparte nacional. Al exterior se busca ampliar las cooperaciones existentes a nivel formal e informal a través del intercambio de experiencias en forma bi y multilateral, logrando que otras instituciones fortalezcan al proyecto. Mediante cooperación con entidades gubernamentales (NEM, DINAMI, DINAPA, MSP, MOP, municipios, etc.) e internacionales (Banco Mundial, OPS, OIT, etc.); se intenta apoyar a la creación de una forma viable de manejo y control ambiental (gestión ambiental) aplicable a la pequeña minería, y al mismo tiempo recibir el apoyo legal para su implementación (Componente de obligación y auditoría). La cooperación con

otros proyectos similares y/o complementarios tiene como finalidad intercambiar experiencias y unir los esfuerzos para lograr objetivos comunes.

(Ejemplos de actividades: Cooperación con proyectos MEDMIN y PRODEMINCA; Convenios con OIT, MEM, MOP, universidades, etc.; Creación de la Comisión de Gestión Ambiental de los Municipios locales; Cooperación con Cámaras de Minería, APROPLASMIN, etc.; Participación en seminarios internacionales organizados por Banco Mundial, Comunidad Europea, ONUDI, etc.; Creación y coordinación de la “Red Mercurio”^a en el Internet; etc.)

7.3.2. El eje central del proyecto: El Plan ECO+

Situación legal referente a estudios de impacto ambiental en el Ecuador

Según la legislación minera y ambiental vigente en el Ecuador (121), cada persona natural o jurídica dedicada a la actividad minera debe ser autorizada por su título minero (concesión para exploración, explotación y beneficio) o permiso de operación otorgado por DINAMI (Dirección Nacional de Minería). La entrega de este título o permiso significa para el minero la obligación de presentar un estudio de impacto ambiental y un plan de manejo ambiental, revisado y aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental a través de DINAPA (Dirección Nacional de Protección Ambiental).

La legislación minero-ambiental del Ecuador no distingue entre pequeña, mediana y gran minería. De esta forma, la legislación ambiental se enfoca principalmente a las necesidades de introducir un manejo ambiental adecuado para la mediana y gran minería, por lo que en algunos de sus aspectos es difícilmente aplicable a la pequeña minería. Así, con los estudios de impacto ambiental, en la práctica ocurre que la mayoría de los pequeños mineros no los presentan por su elevado costo.

De esta forma, en el pasado, muchos mineros no han podido salir de la informalidad. Esta, por otra parte, es el principal obstáculo para su desarrollo. La inversión que requiere una faena minera es alta; no sólo para la mediana o gran minería, sino también para la pequeña minería, si se toma

a La “Red Mercurio - Mercury Network”, espacio de discusión vía Internet, tiene la finalidad de: intercambiar informaciones sobre uso y efectos de mercurio relacionado con la minería de oro, difundir resultados de investigaciones y proyectos, unir esfuerzos, evitar duplicidades y optimizar recursos. Su dirección es: <http://www.geocities.com/rainforest/8985/mercurio.html>

en consideración la situación socioeconómica de los microempresarios. Siendo la minería una actividad de alto riesgo económico, es comprensible que los empresarios traten de minimizar sus inversiones. Si a los riesgos geológicos y económicos se suman adicionalmente riesgos políticos y legales, como es en el caso de la minería informal, queda claro el interés de los mineros de legalizar sus operaciones. A mediano y largo plazo (y a veces incluso a corto plazo) los costos de la legalización (patentes, regalías etc.) son inferiores a los costos de permanecer en la informalidad.

De esta forma, el enganche necesario, para poder ofrecerles una opción “win-win” a los mineros, se encontró en su deseo de legalizarse y su necesidad de presentar un estudio de impacto ambiental (122).

El Plan ECO+: un incentivo innovador para la implementación de medidas ambientales

Las contrapartes del Proyecto Minería sin Contaminación (Fundación CENDA y Projekt-Consult GmbH), desarrollaron a comienzos de 1994 el concepto del PLAN ECO+ (Estudios Colectivos de Impacto Ambiental y Planes Colectivos de Manejo Ambiental para la Minería) (123, 124, 125); el cual tiene como idea central:

Faenas mineras de similares características técnicas, dentro de áreas de similares características ambientales, tienen los mismos impactos ambientales, y por lo tanto las medidas mitigadoras a implementarse son similares.

De esta forma, un estudio de impacto ambiental colectivo con un plan de manejo ambiental colectivo puede representar un marco de referencia ambiental para una gran cantidad de instalaciones en una región.

Mediante un mecanismo de “afiliación al PLAN ECO+” se puede “individualizar” las medidas ambientales previstas en el Estudio Colectivo, y lograr su implementación a través de un compromiso mutuo entre mineros, el proyecto y las autoridades competentes. De esta forma la estrategia se basa en una cooperación tripartita, entre el Ministerio de Energía y Minas, los mineros, y la contraparte nacional del proyecto.

AsR, el ECO+ compromete a:

- **La Fundación CENDA - Proyecto Minería sin Contaminación**
 - a realizar los estudios colectivos para áreas mineras con similares características técnicas y ambientales.
 - a presentar y hacer aprobar los estudios y planes de manejo ambiental colectivos, que sean ejecutables por los pequeños mineros.

- a desarrollar un mecanismo o herramienta de control y seguimiento para los planes de manejo ambiental.
- **El Estado**
 - a través de un acuerdo ministerial facultará a la Fundación CENDA-PMSC, para que pueda realizar los planes ECO+ en la zona
 - a recibir, analizar y, finalmente, aprobar los estudios y planes de manejo ambiental que se propongan
 - a apoyar legal y administrativamente en el seguimiento y control para la implementación y cumplimiento de los planes de manejo ambiental colectivos
- **Los Mineros**
 - a afiliarse al plan ECO+ mediante la suscripción de convenios de inversión ambiental
 - a invertir el dinero que hubiera costado un estudio ambiental (costo de consultores particulares) en la implementación de medidas ambientales (plan de manejo ambiental) en sus propias instalaciones
 - a cumplir en forma individual y colectiva con las recomendaciones del plan de manejo ambiental.

El incentivo para los mineros consiste de este modo, en que se les ofrece una afiliación al plan ECO+ como alternativa legalmente válida a la presentación del estudio de impacto ambiental individual. Las ventajas consisten en el ahorro del costo que implica la contratación de un estudio EIA-PMA, y en evitar los trámites de presentación y aprobación del mismo ante las autoridades en Quito. La obligación adicional para el minero, aparte del normal cumplimiento de su plan de manejo ambiental, es formalizar un compromiso económico para *garantizar* la implementación de las medidas ambientales (Convenio de Inversión Ambiental, respaldado por una garantía bancaria de fiel cumplimiento).

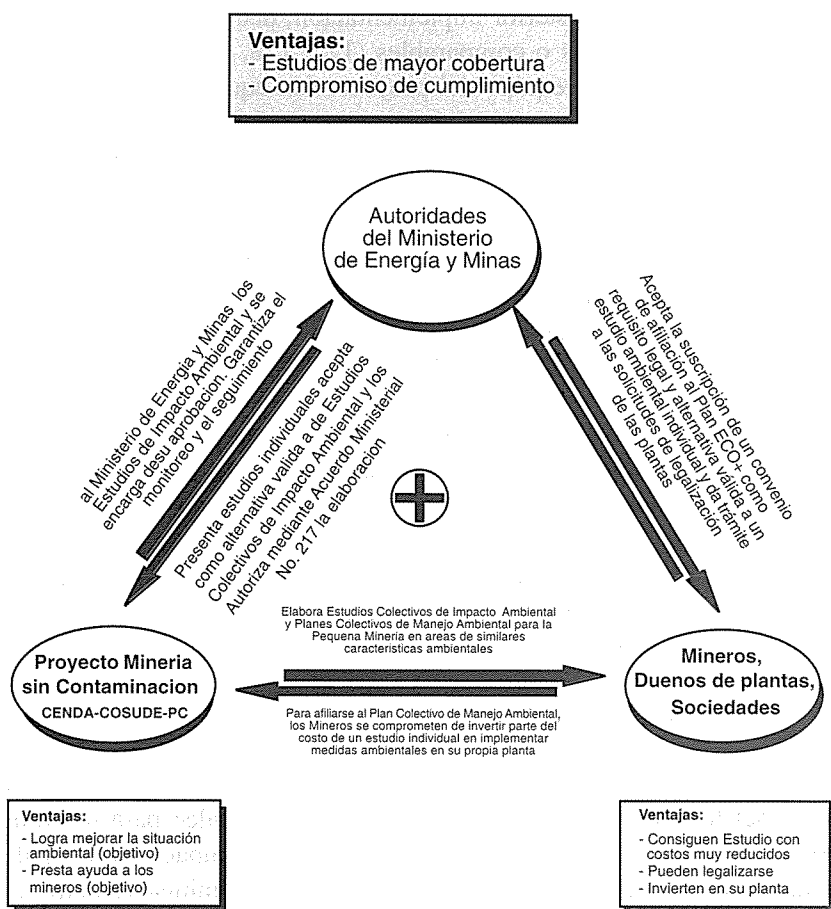
De esta forma el PLAN ECO+ fue planteado y aceptado por el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador; el cual, mediante Acuerdo Ministerial Nro. 217 del 31 de Agosto de 1994, autorizó a la Fundación Cenda-PMSC la realización de estudios colectivos de impacto ambiental en la región minera de Portovelo/Zaruma (126).

Así, desde finales de 1994 el proyecto comenzó con la elaboración de un primer estudio colectivo de impacto ambiental para las plantas de molienda y beneficio mineral ubicadas en la vega del río Calera, denominada *ECO-Calera* con carácter “piloto”.

ILUSTRACIÓN 15
ESQUEMA DE INTERACCIÓN INSTITUCIONAL DEL PLAN ECO+

El Plan ECO+

de Estudios Colectivos de Impacto Ambiental y Manejo Ambiental



7.3.3. Implementación del Plan ECO+

El estudio ECO-Calera

La sub-región del río Calera/Salado fue escogida como área de estudio piloto. La vega del río Calera abarca una superficie de 13 km² con unas 50 instalaciones mineras (plantas de molienda y plantas de cianuración), ubicadas a lo largo del río, a partir de su unión con el río Amarillo hasta el río Salado.

Al iniciar el primer estudio colectivo de impacto ambiental, se comenzó a estructurar la metodología para estudios colectivos, y a diseñar las herramientas para su posterior implementación, debido a que no se conocían proyectos similares o comparables (127, 128, 129). Al momento el trabajo realizado por el equipo del proyecto (un equipo interdisciplinario de 11 profesionales entre personal de planta, consultores, personal nacional e internacional (48, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139 140) ha permitido que el “ECO-Calera” (141 , 142). (como se ha denominado el estudio) cuente con los siguientes componentes:

- diagnóstico de la situación ambiental del río Calera
- evaluación de los impactos ambientales
- plan de manejo ambiental
- plan de monitoreo y gestión ambiental.

Debido al carácter piloto del estudio y de la metodología de implementación, la elaboración de todos los documentos necesarios para conseguir la aprobación definitiva por parte de las Autoridades ha requerido dos años de trabajo. Paralelamente se dio a conocer el ECO-Calera en el ámbito de comunidad y mineros involucrados; éste ha tenido una respuesta muy positiva.

En las tablas en el anexo 2 se presentan, en forma muy resumida, los resultados del diagnóstico ambiental y del plan de manejo ambiental (143).

Esquema de implementación

Para que el presente estudio, aprobado por las autoridades competentes del Ministerio de Energía y Minas, tenga validez para un minero (como alternativa legalmente válida a un estudio de impacto ambiental individual), debe estar en cumplimiento con el acuerdo ministerial Nro. 217, es decir, el minero debe suscribir un Convenio de Inversión Ambiental con la Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación.

Una vez suscrito y protocolizado el Convenio de Inversión Ambiental, el minero entra en cumplimiento con lo dispuesto en la Ley de Minería del Ecuador, referente a la protección ambiental, con un doble compromiso:

- El compromiso previsto en la ley, con las autoridades mineras, de salud, municipios, y otros, de implementar las medidas mitigadoras previstas en el plan de manejo ambiental, que tiene el carácter irrevocable como lo tendría un estudio de impacto ambiental a nivel individual, contratado y presentado por el titular.
- El compromiso, amparado en el Convenio con la Fundación CENDA-PMSC, para implementar las medidas ambientales del Plan de Manejo Ambiental en su faena minera. El convenio prevé la entrega de una garantía de fiel cumplimiento de las medidas ambientales.

Una vez suscritos los convenios con los mineros, comenzó la “individualización” del estudio colectivo, es decir, la definición de aquellas medidas ambientales del plan de manejo ambiental, que cada minero tendrá que implementar. Para facilitar la implementación, el Plan de Manejo Ambiental Colectivo (Plan Macro) está diseñado en forma modular:

- Un análisis de todos los diagramas de flujo aplicados en la región permitió establecer las etapas de los procesos, que son comunes en varias instalaciones.
- Ya que cada una de estas etapas tiene su impacto ambiental (p.e. la amalgamación provoca la emisión de mercurio), todas las plantas que utilizan éste módulo en su proceso, tendrán que implementar las medidas de mitigación correspondientes. (Como en el caso de mercurio: La amalgamación en un proceso cerrado en barriles amalgamadores; la utilización de retortas para la quema de amalgama, la instalación de filtros para gases NO_x [ver foto 53], y otras.)

El plan de manejo ambiental individual (Plan Micro) para cada planta consiste por lo tanto en un breve análisis sobre:

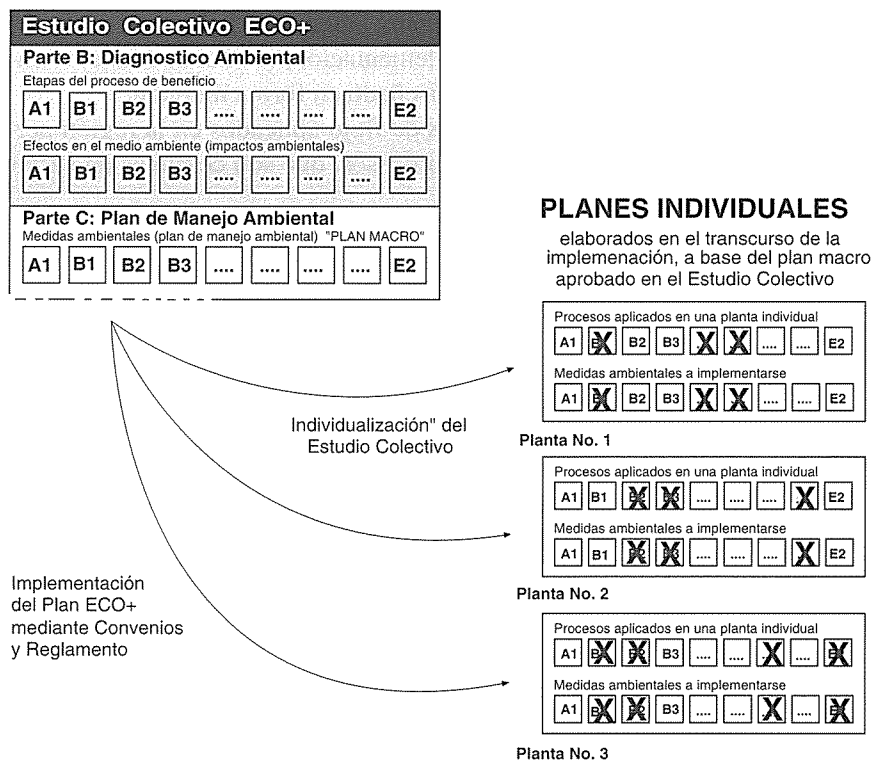
- las etapas del proceso (módulos) utilizadas en el diagrama de flujo y
- cuáles de las medidas ambientales y adecuaciones (144, 145, 146, 147) previstas en el Plan Macro son aplicables en la instalación y cuáles no son relevantes.

En cierta forma, el Plan Micro consiste en una lista de chequeo (148). En el plan micro (PMA-individual) además, se fija los plazos para la implementación de cada medida.

En el caso de incumplimiento de los compromisos adquiridos por parte del minero, pueden aplicarse las siguientes sanciones:

- En caso de incumplimiento del Plan de Manejo Ambiental, las autoridades de los Ministerios de Minas, Salud, Municipios, impondrían las sanciones previstas en las Leyes de la República y Ordenanzas Municipales en lo referente a protección ambiental.
- En caso de incumplimiento del compromiso con la Fundación CENDA-PMSC, el minero perdería la garantía económica que entregó como “garantía de fiel cumplimiento de las medidas ambientales”, la misma que podrá utilizarse para la implementación de las medidas ambientales por parte del proyecto.

ILUSTRACIÓN 16
ESQUEMA DE INDIVIDUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL



Implementación práctica

En vista de la creciente presión por parte de la comunidad a favor de una minería ambientalmente sana, y de la presión por parte de las autoridades para legalizar el sector minero, los propietarios de las instalaciones de beneficio comenzaron a organizarse en el transcurso del año 1996 y conformaron la “Asociación de Propietarios de Plantas y Molinos”, APROPLASMIN, con la finalidad de tramitar en forma conjunta sus permisos de operación. Esta conjuntura encajaba perfectamente con las intenciones del proyecto (y hasta cierto grado fue provocado), ya que a través de APROPLASMIN se contaba con una organización contraparte de base para la implementación del Plan ECO+.

Así en el transcurso del segundo semestre de 1996, paralelamente al proceso de aprobación del estudio por parte de las autoridades competentes, y como fruto de un diálogo abierto con APROPLASMIN y la oficina regional de DINAMI (responsable de otorgar permisos de operación), se logró la firma de un Convenio de Cooperación entre las partes involucradas. Los compromisos son, que: 1.- DINAMI dará mayor facilidad de legalización a los propietarios de instalaciones afiliados al Plan ECO+; 2.- La Asociación de Mineros incluirá la exigencia de medidas ambientales en sus estatutos, y 3.- La Fundación CENDA-PMSC dará preferencia a los miembros de APROPLASMIN en el proceso de afiliación al Plan ECO+, asumiendo al mismo tiempo el rol de vigilancia ambiental para las instalaciones.

Una vez firmado el convenio entre CENDA y APROPLASMIN, y recibida la aprobación final del estudio ECO-Calera por parte de DINAPA, comenzó en el mes de diciembre de 1996 la fase de implementación práctica; es decir, la recepción de solicitudes de afiliación al Plan ECO+ (río Calera/ Salado). La aceptación por parte de los mineros en esta fase sobrepasó todas las expectativas del proyecto:

⇒ *Durante todo el tiempo de preparación del estudio y del mecanismo de afiliación, siempre se ha pensado que la afiliación misma será el proceso más difícil, requiriendo un trabajo arduo para convencer a cada uno de los propietarios, de las ventajas de una afiliación al Plan ECO+.*

En la práctica se dio el caso de que la mayoría de los propietarios se acercó casi en forma inmediata a las oficinas del proyecto para presentar su solicitud.

De esta forma, hasta finales de diciembre un 75% de las instalaciones han presentado su afiliación. Y hasta marzo de 1997 el 85% de las instalaciones del sector Calera estaban afiliados al Plan ECO+.

En el proceso de afiliación, que consiste en los pasos

- presentación de la solicitud
- verificación de la solicitud por parte de los técnicos del proyecto
- pago de la cuota de afiliación por parte del minero
- presentación de documentos necesarios por parte del minero
- presentación de la garantía de fiel cumplimiento por parte del minero
- suscripción del convenio entre Fundación CENDA y el minero

se presentaron inconvenientes sobre todo en cuanto a la exigencia de la garantía de fiel cumplimiento, para la cual inicialmente se requería de una carta bancaria. Debido a que el sistema bancario está insuficientemente preparado para un servicio ágil al cliente, las exigencias de los bancos para la emisión de garantías eran tan exageradas, que el proyecto se vio obligado a aceptar letras de cambio inscritas en el registro de la propiedad.

Una vez suscritos los convenios a partir de marzo de 1997 se comenzó con la etapa de definir los “micro-planos de manejo ambiental”. En visitas técnicas a cada una de las instalaciones se establecen de mutuo acuerdo con el propietario y a base del “Plan Macro” las medidas ambientales a ser implementadas. Adicionalmente, con la finalidad de una mejor visualización de las medidas para el minero, se elabora una planimetría detallada, con graficación de todos los cambios requeridos. Paralelamente se comenzó con una serie de conferencias técnicas, para la instrucción de los mineros en la implementación de las medidas ambientales.

Un factor importante para la credibilidad del programa fue, que las autoridades del Ministerio de Energía y Minas cumplieron a cabalidad con su compromiso, y la DINAMI comenzó a tramitar las solicitudes de permisos de operación. Hasta finales de julio '97 se ha entregado ya los primeros 26 títulos mineros!

7.3.4. Reproducción del Plan ECO+ en otras regiones

El hecho de que el área piloto “río Calera/Salado” no cubre toda la región de Zaruma-Portovelo, provocó en un primer instante un malestar entre los propietarios asociados a APROPLASMIN, quienes poseen instalaciones ubicadas fuera de este sector. Ellos consideraron la afiliación en el área Calera como un trato desigual, y solicitaron que se les tome en cuenta de igual forma. En varias reuniones, de carácter urgente en los meses de enero a febrero de 1997, se buscó la forma más adecuada de involucrarlos. En las reuniones se dejó claro, que la tarea del proyecto no es la elaboración de

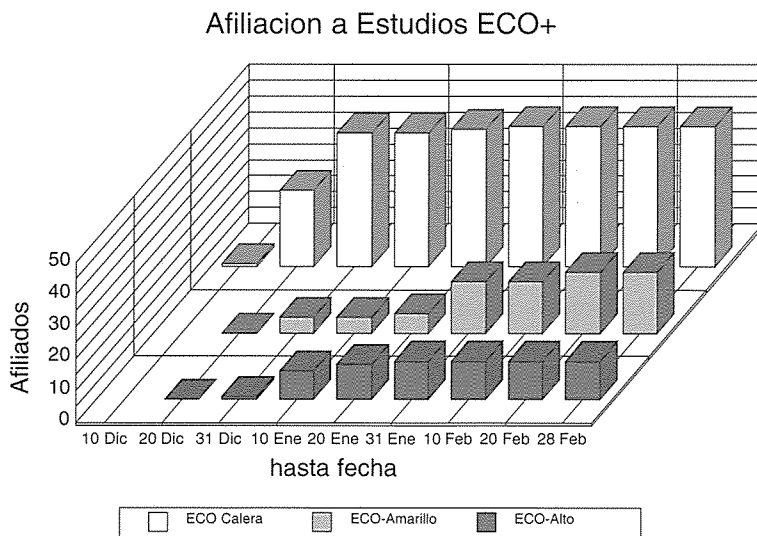
estudios de impacto ambiental como un subsidio al sector minero, sino el desarrollo de nuevos modelos y conceptos, que en el futuro puedan fortalecer al sector minero y beneficiar la situación ambiental de la población en general.

Esta argumentación permitió que los mineros aceptaran un esquema de autofinanciamiento para futuros estudios colectivos y de su implementación, repartiendo entre los beneficiarios los costos de elaboración de los mismos.

El marco teórico del Plan ECO+ permitió establecer para el resto de la región de Zaruma/Portovelo otras dos áreas de estudio, que cumplen con el requisito de "... similares características ambientales ...", que son la vega del río Amarillo y las laderas en la parte alta de los cantones Zaruma y Portovelo.

De esta forma, hasta finales de junio se han presentado 38 solicitudes por parte de propietarios de instalaciones ubicadas en las áreas ECO-Amarillo y ECO-Alto, comprometiéndose cada uno a pagar voluntariamente cuotas de afiliación entre 500 y 1.500 US\$. La recaudación de estos fondos permite comenzar con la realización de otros dos estudios colectivos de impacto ambiental, que se denominarán "ECO-Amarillo" y "ECO-Alto". Con estos dos estudios ECO se espera poder involucrar a la mayoría de las instalaciones de la región en un plan de manejo ambiental regional.

ILUSTRACIÓN 17
ESTADÍSTICA DE LAS AFILIACIONES AL PLAN ECO+ EN EL PERIODO DE DICIEMBRE 1996
HASTA FEBRERO 1997



El proceso de implementación de planes ECO+ en la región Zaruma/Portovelo a finales del año '97 (después de casi 4 años de trabajo del proyecto), ha alcanzado un cierto nivel de autodinámica. En reuniones con autoridades de minería y salud, convocados por los afiliados al plan ECO+, los mismos mineros (!) comenzaron a exigir, que se ejerce presión a todos aquellos que no están dispuestos a trabajar en forma ambiental.

7.3.5. Sostenibilidad del PLAN ECO+ y autogestión

El Programa, concebido inicialmente como incentivo y herramienta para la difusión e implementación de medidas ambientales, se ha convertido en un sistema complejo de interacciones entre diferentes actores individuales e institucionales.

Un pilar de la sostenibilidad del plan ECO+ (149) es **el autofinanciamiento de futuros estudios por parte de los beneficiarios**. El cálculo del monto de afiliación comprende no solamente los costos de la elaboración del estudio, sino también una reserva para un futuro seguimiento.

El segundo pilar de la sostenibilidad consiste en **involucrar instituciones locales en el monitoreo ambiental y por lo tanto, en la gestión ambiental**; para que en el futuro sean las instituciones locales, las que comiencen en forma paulatina a tomar cartas en los asuntos ambientales de su región. Para el efecto se ha considerado la creación de una comisión interinstitucional (Comisión de Gestión Ambiental - COGEAM) a nivel local, compuesta por representantes de los municipios, autoridades mineras, autoridades de salud y representantes de la sociedad civil. La reciente creación de departamentos de medio ambiente (DEMA) en dos de los cuatro municipios de la región puede ser considerada como un primer paso hacia este fin.

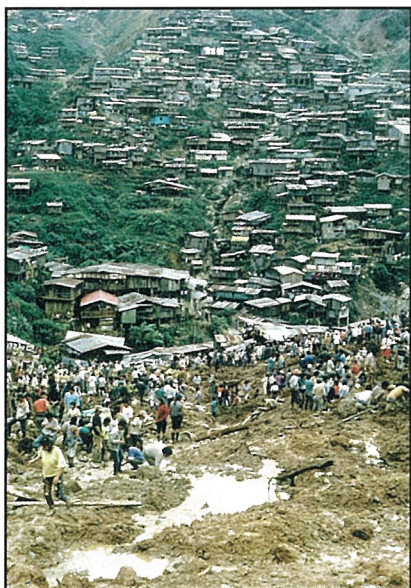
El tercer pilar debe ser **la conciencia ambiental creada en la población en general a través de programas de sensibilización y educación ambiental**. Ahí el “gancho” principal es el tema de salud, íntimamente vinculado al bienestar familiar. La comunidad puede –y se lo ha experimentado en varias ocasiones– jugar un papel importante para presionar a las autoridades y a los mismos mineros para adoptar ciertas actitudes. Dentro de la comunidad son principalmente las mujeres, niños y jóvenes el grupo meta de mayor prioridad para crear grupos de presión y para convertir la conciencia ambiental en una motivación ambiental. La aplicación e implementación de temas transversales (como el tema “género”) representa, por lo tanto, una tarea de gran importancia en la búsqueda de la sostenibilidad del proyecto.



49. Mujer lavando oro aluvial con canaleta (Dep. Valle de Cauca, Colombia)



50. Niños lavando oro aluvial con batea (Coop. San José de Yani, Bolivia)



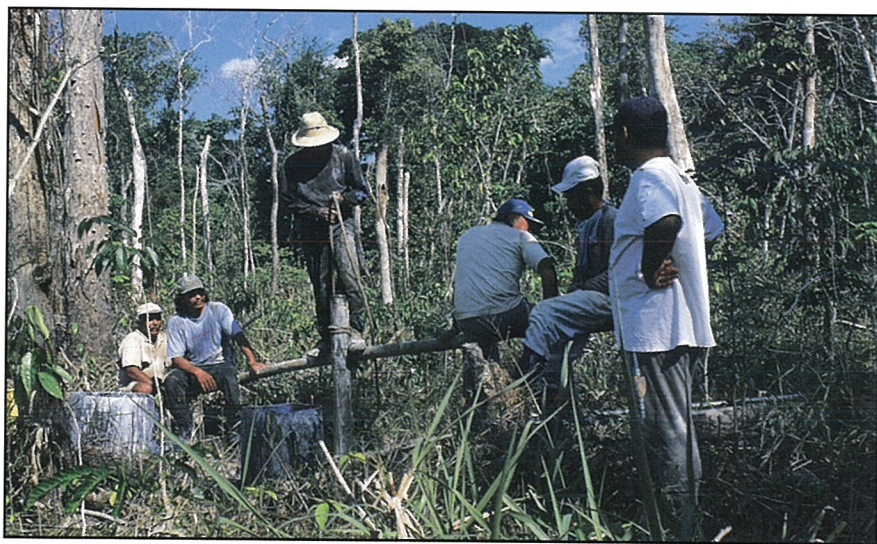
51. Campamento minero Nambija,
Ecuador, después de desastrozo derrumbe



52. Campamento minero Cooperativa 15 de Agosto, Bolivia, 5.100 m s.n.m.



53. Filtro de carbón vegetal y lechada de cal para gases NO_x (Zaruma, Ecuador)



54. Perforación manual para la exploración de yacimientos aluviales (Tapajós, Brasil)



55. Relleno de barranco explotado con colas frescas (Piririma, Tapajós, Brasil)



56. Seminario con mineros (La Paz, Bolivia)



57. Demostración de retortas (Coop. Fátima II, Bolivia)



58. Fabricación local de equipo (SENTEC, Oruro, Bolivia)

Notas

- 1 COSUDE: Política sectorial para el fomento de la artesanía y la industria. Berna/CH 1992. ISBN: 3-905399-31-8).
- 2 Nötstaller, R.: Small Scale mining, a review of the issues, Worls Bank technical paper No. 75, Industrie and finance series, 1987.
- 3 Hruschka, F., Priester, M.: Costos y beneficios de la pequeña minería en los países en vías de desarrollo. Simposio Internacional: Comunidad Europea - Proyecto Mercurio, Santarem, 1997.
- 4 v.Weizsäcker, E.U. Erdpolitik. Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993.
- 5 Young, J.E.: Mining the Earth. Worldwatch Paper 109, July 1992.
- 6 Hagen, D.F.: Kleinbergbau und seine Bedeutung, Schriftenreihe der GDMB, Heft 76, 1995.
- 7 Hruschka, F.W.: Pequeña Minería y Medio Ambiente - Costos y Beneficios. Seminario Expominería Ecuador 95, Loja 1995.
- 8 Banco Mundial: Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Vol. I. Washington D.C. 1992.
- 9 Carrasco, M.: El Pasivo ambiental. Ponencia en el Seminario Ley de Minería y Derecho Ambiental en el Ecuador. Loja, 9-11. 3. 1994.
- 10 Down, C.G; Stocks, J.: Environmental Impact of Mining. Applied Science Publishers, London 1977.
- 11 Word Bank (editors): Environmental Assessment Sourcebook. World Bank Technical Paper No. 139, Washington 1991.
- 12 Inter-American Development Bank (editors): Environmental Checklist for Mining Project. Washington.
- 13 Overseas Development Administration (editors): Manual of Environmental Appraisal. London.
- 14 Government of India/Asian Development Bank/ESCAP (editors): Training Workshop on Environmental Impact Assessment and Evaluation, Proceedings and Training Manual. Lucknow, India 1988.
- 15 United Nations/UNEP (editors): Environmental Management of Mine Sites: Training Manual. New York, Paris, Nairobi 1994.
- 16 Ministerio de Energía y Minas; Instituto de estudios Económicos Mineros; GTZ (editors): Minería y Medio Ambiente, un enfoque técnico-legal de la minería en el Perú. Lima 1993.
- 17 OPS: Enfermedades ocupacionales, Guía para su diagnóstico. Organización Panamericana de la Salud, Publicación científica No. 480. Washington 1989. ISBN: 95-75-31480-2.

- 18 Fundación Natura, COSUDE: Seguridad industrial en el manejo de productos químicos. Quito 1996.
- 19 López V., A., OIT: Seguridad y Salud en el Trabajo en el marco de la globalización de la economía. Memorias del Primer Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. Lima 1997.
- 20 Jennings, N., ILO: Small-scale mining in developing countries: addressing labour and social issues. Guidelines for the development of small/medium-scale mining. UNDES-SMI, Harare 1992.
- 21 Meadows, D.: The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Pub, 1972. ISBN: 087663918X.
- 22 Fettweis, G.B. en Wahl, S.v. (ed): Bergwirtschaft. Essen, 1990.
- 23 Naciones Unidas: The United Nations Classification of Mineral Resources. New York 1979.
- 24 Marco, J.: Recursos Naturales. Barcelona, 1973.
- 25 Hruschka, F.: Recursos naturales: riesgo de extinción. En: Aranda, J. (ed): Minería y Medio Ambiente. Editorial UTPL, Loja 1995.
- 26 DEH (editores): Wirkungshypothesen. Entwicklung und Umweltimpact. Bern 1994.
- 27 Naciones Unidas: Agenda 21, Cumbre de la Tierra. Río de Janeiro 1992.
- 28 EPA: <http://www.epa.gov/superfund/oerr/impmp/products/nplsites/0903020n.htm>.
- 29 NN.: ISO 14000.
- 30 NN.: ISO 9.000.
- 31 EPA: Principles of Environmental Enforcement. EPA/300-F-93-001, Washington, 1992.
- 32 Comunidad Europea: Öko-Audit-Verordnung 1836/93, Anhang 1.
- 33 Priester, M., Hentschel, T.: Small Scale Gold Mining, GTZ 1992.
- 34 Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Verlag Chemie. Weinheim 1990.
- 35 Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ): Guía de protección ambiental, Tomo III, Catálogo de Estándares Ambientales, Eschborn, 1995.
- 36 Von Burg, R., Greenwood, M.R.: Mercury. en: Metals and their Compounds in the Environment, edited by Ernest Merian, VCH, Weinheim 1991, pp. 1045 - 1088.
- 37 Winnacker Küchler: Chemische Technologie "Metalle", editores: Harnisch, H; Steiner, R; Winnacker, K. Carl Hanser Verlag München Wien 1986, pp.478-480
- 38 Plachy, J. en: USGS Minerals Yearbook 1996: Volume I. -Metals and Minerals. Washington 1997 (<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commoditymercury/430496.pdf>).
- 39 Veiga, M.: Base de datos del Expert system HgEx, Vancouver BC, 1994.
- 40 Veiga, M., J. Meech, N. Oñate: Mercury Pollution from Deforestation.
- 41 Umwelt: The European River Rhine, and Balance of the Use and Fate of Mercury in the Federal Republic of Germany (en alemán). Information of the German Federal Minister on Protection of the Environment and Nature, No.9, pp. 375-378, No 10, p. 433, 1988.
- 42 Work On Waste Inc.: <http://ecologia.nier.org/english/level1/wastenots/wn208.html>, 1992.
- 43 Bo Walhjalt: "Minamata and then ...", <http://vest.gu.se/~bosse/mercury/culture/events/minamata.html>, 1997.
- 44 EDF: <http://rainbow.ldgo.columbia.edu/edf/text/mercury.html>.

- 45 Triodyne Environmental Engineering (TEE): <http://www.mcs-net/-hutter/tee/mercury.html>.
- 46 Hentschel, T., Priester, M.: Quecksilberbelastung in Entwicklungsländern durch Goldamalgamation im Kleinbergbau und aufbereitungstechnische Alternativen. *Erzmetall* 43, pp.331-336. Weinheim 1990.
- 47 Quiroga, S.I.: Contaminación ambiental por mercurio de los ríos Chairó y Huarinilla en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 1996.
- 48 v. Tümpling, W.: Monitoreo de Mercurio en Agua, Sedimentos y Aire en Zaruma y Portovelo, Ecuador. PMSC 1994.
- 49 Grösser, J.R.; Hagelgans, V.; Hentschel, T.; Priester, M.: Heavy-metals in Stream Sediments: A Gold Mining Area Near Los Andes, Southern Colombia S.A. *AMBIO* Vol 23 No.2, 3/1994, pp.146-149.
- 50 LIDEMA, PL-480, CORDEPANDO: Estudio del Impacto ambiental por la explotación del oro en la región de Nueva esperanza, Araras, Departamento del Pando (Bolivia), 1992.
- 51 Malm, O., Pfeiffer, W., Souza C., Reuther, R.: Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira Basin, Brasil. *AMBIO*, Vol 19; No1, pp11-16, 1990.
- 52 Martínez García, J.; Santos Español J.R.: Salud Ocupacional. Incidencia del Mercurio en la Región de Zaruma y Portovelo. PMSC 1994.
- 53 Betancourt, O.F.: Protección de la salud de los mineros y de la población circundante. Seminario sobre amalgamación en la minería de oro. PMSC, Zaruma, Marzo 1994.
- 54 OPS: Enfermedades ocupacionales, Guía para su diagnóstico. Publicación Científica No. 480, Washington 1989.
- 55 OPS/OMS (varios autores): Mercurio. Criterios de salud ambiental. Publicaciones Científicas No. 362, Washington 1978.
- 56 Zenz, C.: Occupational Medicine, Year Book Medical Publishers. Chicago, 1984
- 57 Waldrom, H.A.: Lecture Notes on Occupational Medicine. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1976.
- 58 Betancourt, O.: La salud y el trabajo. OIT, Ediciones CEAS, Quito, 1995.
- 59 Pantoja R., M.: Intoxicación por mercurio en cooperativas auríferas "Larecaja-Tropical". Instituto Nacional de Salud Ocupacional, MEDMIN, La Paz, Bolivia 1995.
- 60 Proyecto Mercurio: Informe preliminar (Información personal David Cleary) 1997.
- 61 Gallardo, G., F. Hruschka, F. Rodríguez, C. Salinas, M. Sarango, M. Cayambe: Resultados de la aplicación del test de Ballard a niños de los cantones Portovelo, Zaruma, y Piñas, realizada en cooperación con Apanjez. PMSC, Loja 1994-95.
- 62 Taggart, A.F.: Handbook of Mineral Dressing, New York, 1953, pp.14-10 - 14-21.
- 63 Blowers, M. J.: Small Scale Gold Mining in Papua New Guinea. The PNG University of technology. 1982.
- 64 Roque, D.: Visita Operaciones Mineras Auríferas de: San Simón (Beni) y Puquio Norte (Santa Cruz) Informe interno Proyecto MEDMIN, Bolivia, Septiembre 1997.
- 65 Gobierno de Brasil: Decreto presidencial No. 97.507 del 13.2.89.
- 66 Agrícola, Georg: De re metallica libri XII, 1556, Reprint Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1994.
- 67 Clarkson, R.R, Peer, O.: An Analysis of Sluicibox Riffle Performance. Klondike Miners Association, Whitehorse, Yukon, Canada, 1990 Sluiciboxartikel.

- 68 Poling, G.W.; Hamilton, J.F.: Pilot Scale Study of: "Fine Gold Recovery of Selected Sluice Box Configurations". University of British Columbia, Department of Mining and Mineral Process Engineering. 1986.
- 69 Wotruba, H.: La tecnología de concentración en la pequeña minería aurífera primaria en Bolivia, sus impactos ambientales y posibilidades para su mejoramiento. II Seminario técnico del oro y la plata. UMSA, La Paz, Bolivia 1996.
- 70 Wotruba, H., Roque, D.: Proyecto Mercurio. Investigaciones para la mitigación del impacto ambiental y la contaminación causada por la minería aurífera en la cuenca del río Tapajós en la amazonia brasileña. Informe Projekt-Consult, 1995.
- 71 Bernardy, C., Wotruba, H.: Proyecto Mercurio. Investigaciones para la mitigación del impacto ambiental y la contaminación causada por la minería aurífera en la cuenca del Río Tapajós en la Amazonia brasileña. Informe Projekt-Consult, 1996.
- 72 Braithwaite, J.C.: Alluvial Gold Backhoe Plants in New Zealand, World Gold 1989, pp.155-160.
- 73 Taggart, A.F.: Handbook of Mineral Dressing, New York 1953, p.11-132.
- 74 Priester, M., Hentschel, T.; Benthin, B.: Pequeña Minería-Técnicas y Procesos. GTZ 1991.
- 75 Burt, R.O.: Gravity Concentration Technology, Elsevier 1984.
- 76 Knelson Gold Concentrators Inc.: Technical Papers and Performance Reports 1993-1998.
- 77 Azanza, J.: Ensayos con el concentrador Knelson. Informe PMSC, Loja, 1994.
- 78 Steward, D.F.S.: Operations of the Sluice Box Under Conditions of Low Water Flow. Bull.Proc. Australas. Inst. Min. Metall., Vol 291, No 8, 12/1996.
- 79 Escobar A., J; Echeverry V., A.: Notas sobre minería de veta y cianuración, Fundación Escobar, Medellín, Colombia, 1990 (reprint de 1942).
- 80 Beszedits, S.: Mercury removal from effluents and wastewaters. The Biochemistry of Mercury in the Environment. Elsevier 1979.
- 81 Jernelöv, A; Lann, H.: Studies in Sweden of Some Methods for Restoration of Mercury-Contaminated Bodies of Water. Environmental Science and Technology, vol 7 (1973), Nro. 8, p. 712-718; citado en: Veiga, M. HgEx - Expert System.
- 82 Machado, Claudio: Información personal sobre planchas amalgamadoras de la Empresa Río Sul, 1997.
- 83 Sampaio, J.A., dos Santos, R.L.: Experiencias con la Planta Piloto Piririma. Seminario-Taller con AMOT, Itaituba, Junio 1997.
- 84 Hentschel, T.; Wotruba, H: The Amalgamation in Small Scale Gold Mining- Problems, Processing Alternatives and its Applications. Workshop on Ecologically Sustainable gold Mining and processing. UNIDO. Jakarta 1995.
- 85 Roine A.: Outokumpu HSC Chemistry for Windows. De. Outokumpu Research Oy, Finlandia. 1994.
- 86 Carrillo C., F.J.: Recuperación de Mercurio por Disolución en Acido Nítrico. Tesis Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica. Oruro, Bolivia. 1997
- 87 NN.: Mercury Nitrate. <http://mail.odsnet.com/TRIFacts/9.html>.
- 88 Wotruba, H.: El uso de la cianuración en la pequeña minería de oro. Tecnologías y riesgos ambientales. Congreso Nacional de la metalurgia de oro y plata. Universidad Técnica de Oruro. Bolivia 1996.
- 89 Weiss, N.L. (Editor): SME Mineral Processing Handbook, SME, AIME New York 1985, Volume 2; pp. 18-1 - 18-21.

- 90 Hollaway, J.: Trouble-Shooting Cyanide Problems on Hydrothermal Gold Ores. E&MJ, June 1993, pp. 16BB-NA-Na 1600.
- 91 Alvarado S., V.H.: Flotación de oro fino con depresión de pirita. Universidad Técnica de Oruro. Carrera Ingeniería Metalúrgica, 1997.
- 92 Norman, D.I.: A Simple, Efficient and fast Method of Separating Gold from Alluvial Concentrates without Use of Mercury. UNIDO Expert Group Meeting "Introducing. New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution Deriving from Artisanal Gold Mining". Vienna 1997.
- 93 Bonney, C.F.: Coal-Gold-Agglomeration- a Novel Approach to Gold Recovery. Randol Gold Forum 1988, pp.125-128.
- 94 Hamelmann, C.R.A.; Lins, F.F.: A Non-polluting Technology to Recover Gold: The Gold-Paraffin-Process. XX. Internacional Mineral Processing Congress, Aachen 1997.
- 95 Cleary, D.: Mercury Contamination in Developing Countries- Problems and Solutions. Intern. Conference on Mercury as a Global Pollutant. Hamburg 1996.
- 96 GTZ: Project Cycle management (PCM) and Objectives-Oriented Project-Planning (ZOPP), Guidelines GTZ-P-FORM 21-2-1e, Eschborn 1996.
- 97 COSUDE: Planificar la cooperación. Berna 1994.
- 98 Priester, M.: Der Beitrag der internationalen Technischen Zusammenarbeit zur Stimulierung nachhaltiger Bergbauaktivitaeten in Afrika. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H.7/8, 1996, p.653-665.
- 99 SADC Mining Sector Coordination Unit; GTZ: Small-Scale Mining Technology for SADC Member States, Lusaka 1994.
- 100 Münzenmeier, V.C; Bejarano, M.R.: Lineamientos conceptuales y estratégicos para la consideración del desarrollo equilibrado entre hombres y mujeres en el PPP COSUDE Bolivia 98 - 2003, La Paz, 1997.
- 101 Pantoja, F.: información personal .
- 102 Hunter, N.: información personal.
- 103 Rodrigues, D, Credit Suisse, London 1996 (adaptado por Projekt-Consult).
- 104 Cortez, G.: Situación Actual y Perspectivas de la Minería Pequeña en Bolivia, Proyecto MEDMIN, La Paz, 1994.
- 105 Villavicencio, A.: Diagnostico socio-económico de la región del Río K'aka, MEDMIN, 1995.
- 106 Hinojosa D., J., Rosales R., S.: Análisis del impacto socio-económico de la contaminación del Río La Ribera-Pilcomayo-Potosí. Proyecto MEDMIN, La Paz 1995.
- 107 Hinojosa D., J.: Diagnostico socio-económico de la minería aurífera primaria en la Provincia Larecacha: Sector Yani-Lijuata. Proyecto MEDMIN 1996.
- 108 Herbas, J., y otros: Inventarios de la minería aurífera en los sectores: Lambate, Cotapata, Yani, Norte Potosí, Nor Yungas, Sunchulli, Tipuani-Challana-Mapiri. Proyecto MEDMIN, La Paz, 1994-1997.
- 109 Golder Associates (UK) Ltd.: Estudio de Factibilidad para la construcción de un dique de colas en Potosí; Bolivia. MEDMIN, La Paz 1994.
- 110 Rohena B., S.: Observaciones y Sugerencias a la versión „Borrador Final" de la reglamentación de la Ley 1333, del 27 de Abril de 1992, Ley de Medio Ambiente. Proyecto MEDMIN, 1994.
- 111 Rohena, B., S.: Líneas Maestras para la Implantación de la Reglamentación del Medio Ambiente; Procedimientos técnico-administrativos sometidos a la Secretaría

- Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Proyecto MEDMIN, La Paz, 1994.
- 112 Rodríguez F.: Fundación CENDA, su Labor de Asistencia Técnica, y el Proyecto Minería sin Contaminación en Portovelo/Zaruma. Mesa Redonda Internacional sobre Minería Artesanal. The World Bank. Washington EE.UU., 1995.
- 113 Salinas C.: La Pequeña Minería Aurífera de Portovelo / Zaruma, Provincia El Oro - Ecuador y sus Impactos Ambientales. Curso Internacional de Formación en Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Campinas - Brazil, 1995.
- 114 Baldock, J.W.: Geología del Ecuador. Mapa Geológico de la República del Ecuador, Escala 1:1'000.000. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas - Instituto de Ciencias Geológicas, Consejo de Investigación del Medio Ambiente Natural, Londres, Reino Unido, 1982.
- 115 United Nations Development Programme: Survey of Metallic and Non metallic Minerals, Gold and Base Metal Sulphides Portovelo. Technical report No. 2, Operation No. 2. UNDP Quito/New York, 1969.
- 116 Sarango, M.; Salinas, C.; Hruschka, F.: Estudio Socioeconómico de la Región minera Zaruma y Portovelo. PMSC, Loja, 1995.
- 117 González, M., Salinas, C., y Sarango M.: Diagnóstico de la Región de Zaruma y Portovelo. PMSC, Loja, 1993.
- 118 Azanza, J.: Informe sobre análisis físico-químico y ensayos metalúrgicos realizados en los laboratorios del área de metalurgia de la Escuela Politécnica Nacional. Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1995.
- 119 Azanza, J.: Descripción de las plantas de procesamiento en el sector río Calera. Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1995.
- 120 Hunter, N.: Concepto ERT, Empresas de recuperación terciarias. Informe preparado para el proyecto "Minería sin Contaminación", Loja, Koenigstein, Bath, 1995.
- 121 Ministerio de Energía y Minas, Petroecuador: Legislación Ambiental. Compilación de leyes, reglamentos y normas relacionadas con el medio ambiente y la conservación de la naturaleza, para el sector hidrocarburífero y minero. Quito, 1993.
- 122 EPA: Principles of Environmental Enforcement. US Environmental Protection Agency, Washington, 1992.
- 123 Priester, M., Hruschka, F.W.: (1996). New approaches to improve the environmental management of small-scale mining. Two pilot projects in Latin America. Natural Resources and Development, 1996.
- 124 Hruschka F.W., Paredes de E., Z: Estudios Colectivos de Impacto al Medio Ambiente - Un Nuevo Instrumento de Gestión Ambiental. 1er Congreso nacional de minería. Cajamarca - Perú, 1996.
- 125 C. Salinas: Estudios Colectivos de Impacto Ambiental como Solución a los Problemas de la Pequeña Minería en el Ecuador. Simposio Regional sobre Mercurio, Santarem, Brazil, 1997.
- 126 Vaca, G.: Criterio jurídico sobre el Reglamento sobre Afiliación y Ejecución del Convenio de Estudio de Impacto ambiental. Informe preparado para Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1995.
- 127 Banco Mundial: Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Banco Mundial, Washington, 1991.

- 128 Corporación Financiera Nacional: Manual de Evaluación Ambiental para Proyectos de Inversión. CFN, Quito, 1993.
- 129 Conesa, V.: Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1993.
- 130 Hettler, J.: Informe sobre los Trabajos realizados como Experto a corto Plazo en el Proyecto "Minería sin Contaminación". Informe preparado para el proyecto "Minería sin Contaminación", Loja, Koenigstein, 1994.
- 131 Martínez, J., y Santos, J.: Salud Ocupacional y Incidencia del Mercurio en la Región de Zaruma y Portovelo. Informe preparado para el proyecto "Minería sin Contaminación", Loja, Koenigstein, Almadén, 1994.
- 132 Campaña, A.: Evaluación del impacto por ruido en plantas de molienda de mineral de la zona de "El Pache". Informe preparado para Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1996.
- 133 Barriga, R.: Estudio de Caracterización de la Vida Acuática de los Ríos Calera, Amarillo, Pindo y Puyango. Informe preparado para Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1994.
- 134 Muñoz, F.L.: Estudio de Impacto Ambiental en la Vegetación del Río Calera, por Efectos de la Minería. Informe preparado para Fundación CENDA-Proyecto Minería sin Contaminación, Loja, 1994.
- 135 Barriga, R.: Inventarios de los Vertebrados del Ecuador (Peces). La Investigación para la Conservación de la Diversidad Biológica. Mena, P. & Suárez, L. Editores, ECOCIENCIA, 1993.
- 136 Baslev, H.: Distribution Patterns of Ecuadorean Plant Species. *Taxon* 37 (3), 567 577, 1988.
- 137 Barriga R. y Ibarra M.: Peces de las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Nacional, Universidad Central y PREDESUR. 540 pp, 1982.
- 138 Albuja, L., Ibarra, M., Urgilés, J. y Barriga, R.: Estudio preliminar de los Vertebrados Ecuatorianos. Escuela Politécnica Nacional, 143 pp., 1980.
- 139 Blandín, C.: El Clima y sus Características en el Ecuador. XI. Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IGM, 1977.
- 140 Acosta, S.M.: División Fitogeográfica y Formaciones Geobotánicas del Ecuador. Casa de la Cultura Ecuatoriana, Quito, 397 pp., 1968.
- 141 Hettler, J.: Estudio Colectivo de Impacto Ambiental - Borrador Abril 1995. Informe preparado para el proyecto "Minería sin Contaminación", Loja, Koenigstein, 1995.
- 142 Hunter, N.: Conceptos Generales sobre el Plan ECO+ y el Plan de Manejo Ambiental para el ECO Río Calera/Río Salado. Informe preparado para el proyecto "Minería sin Contaminación", Loja, Koenigstein, Bath, 1995.
- 143 PMSC (Co-Autores: Ing. Jorge Azanza, Dr. Ramiro Barriga, Dr. Arturo Campaña, Dr. Jörg Hettler, Dr. Ing. Felix Hruschka, Ing. Nicholas Hunter Msc., Ing. Franco Muñoz, Ing. Zarina Paredes, Ing. Fabián Rodríguez, Ing. Carlos Salinas, Manuel Sarango): Estudio Colectivo de Impacto Ambiental para las Plantas de Beneficio de Mineral Aurífero ubicadas en la Ribera de los Ríos Calera / Salado, Región de Portovelo / Zaruma, Provincia de El Oro, Ecuador. Fundación CENDA - COSUDE - Projekt Consult. Loja, 1996.
- 144 Smith, A. y Mudder, T.: The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes. Mining Journal Books Ltd., London, 1991.

- 145 Escobar, J. y Echeverri, A. (1942). Notas sobre Minería de Veta y Cianuración. Reedi-
ción facsimilar publicada por la "Asociación Colombiana de Mineros", 1990.
- 146 Cárdenas, A. / Yannopoulos, J.C.: Metalurgia Extractiva del Oro / The Extractive
Metallurgy of Gold. Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- 147 Wotruba, H.: Posibilidades para la reducción de emisiones contaminantes en la región
de explotación aurífera Portovelo-Zaruma, PMSC, Ecuador, 1995.
- 148 Hunter, N.: ECO-Calera, Plan de Manejo Ambiental. PMSC, Loja, 1995.
- 149 Hunter, N.: Evaluación de la sostenibilidad del Plan ECO+. PMSC, 1995.

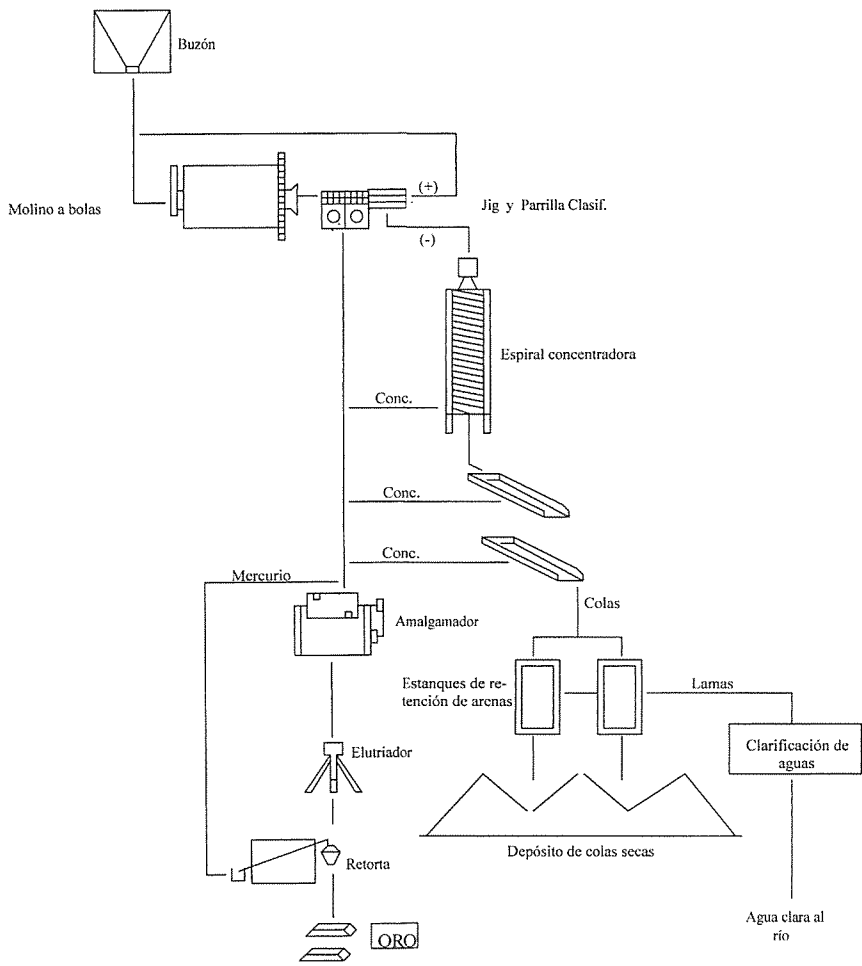
Anexos

Flujogramas de plantas de beneficio en la pequeña minería aurífera primaria de Bolivia

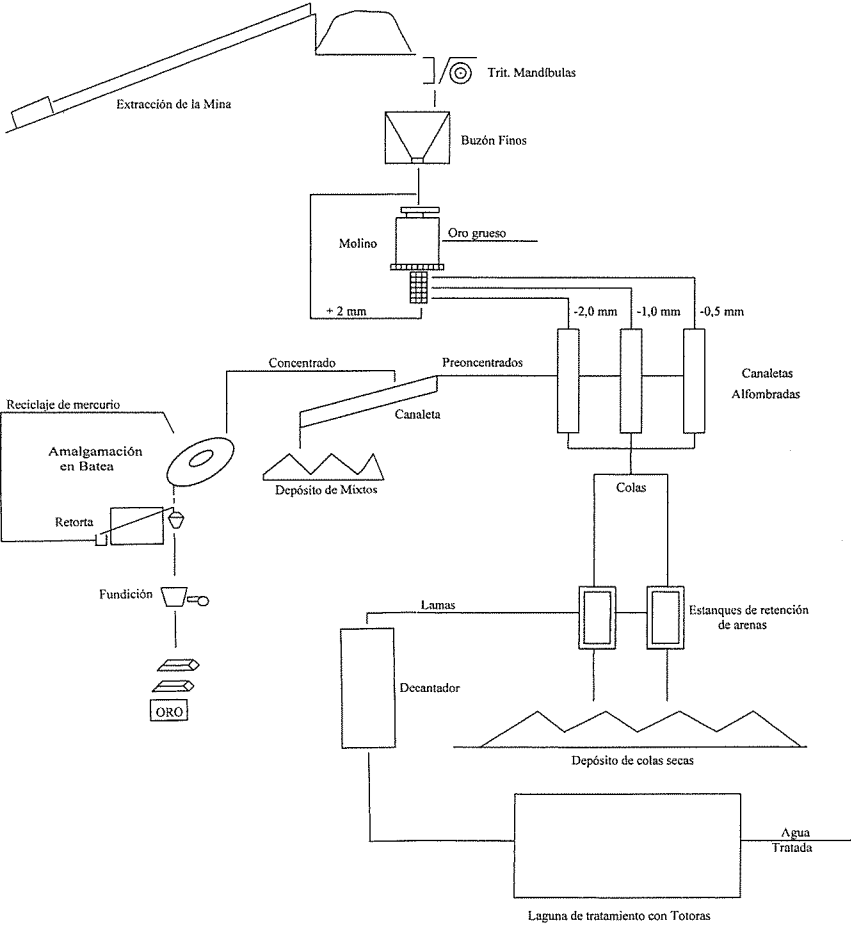
En este anexo, se presentan cinco diferentes flujogramas de plantas de beneficio de pequeños minas auríferas primarias de Bolivia, tal cual los ha instalado MEDMIN y se encuentran en funcionamiento. Son cinco ejemplos típicos entre más de 15 plantas instaladas o mejoradas por MEDMIN. Los flujogramas se adecuaron a las características del material aurífero (no sulfuroso, de oro grueso, de oro fino, etc.) y también a la capacidad de inversión de los mineros.

Todos los flujogramas presentados en este anexo, utilizan el mercurio para la amalgamación de concentrados en forma controlada.

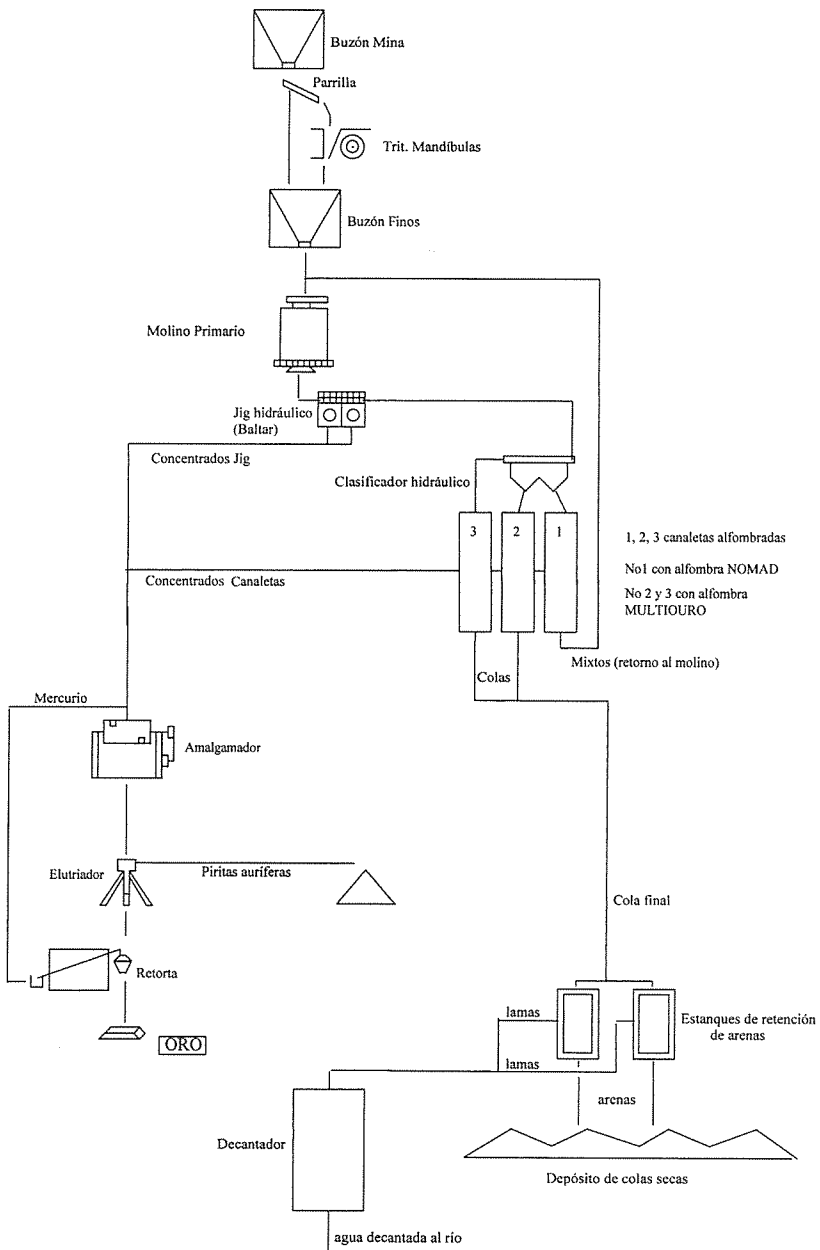
FLUJOGRAMA 1
COOPERATIVA COPACABANA DE COTAPATA



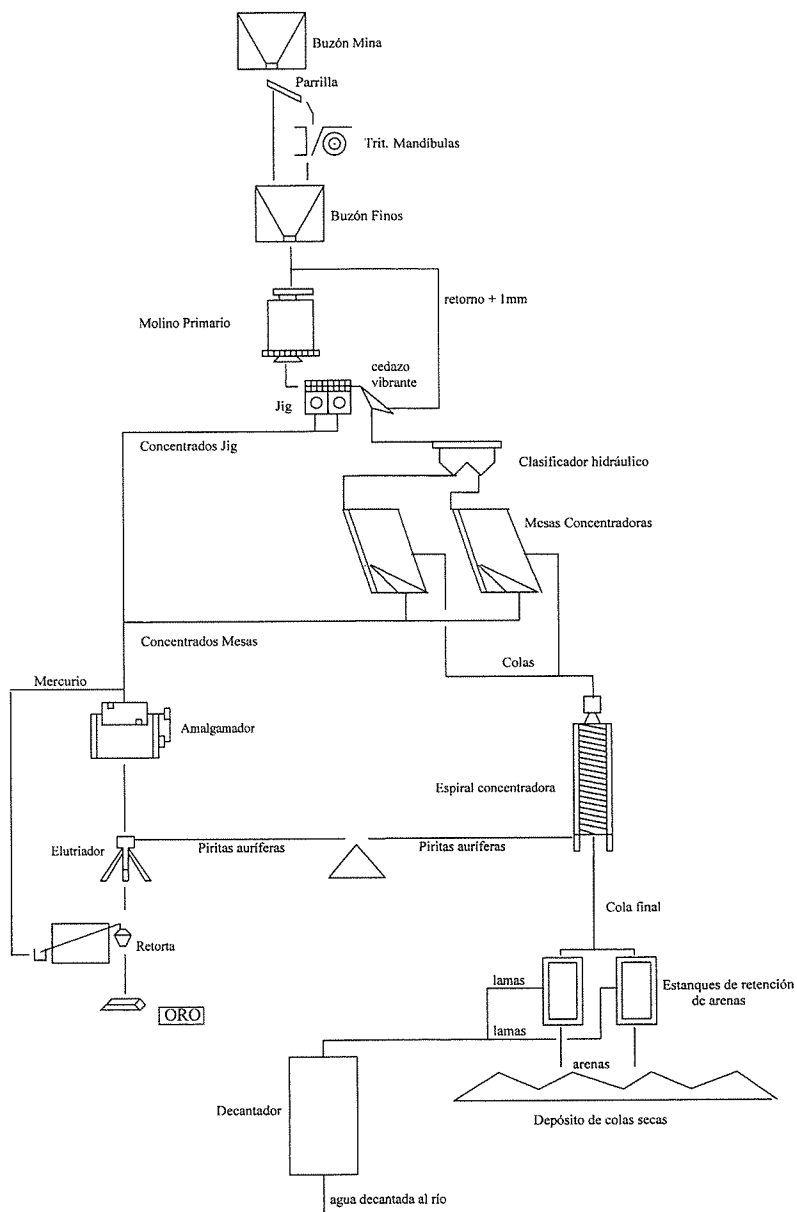
FLUJOGRAMA 2
COOPERATIVA LIBERTAD
IROCO - ORURO



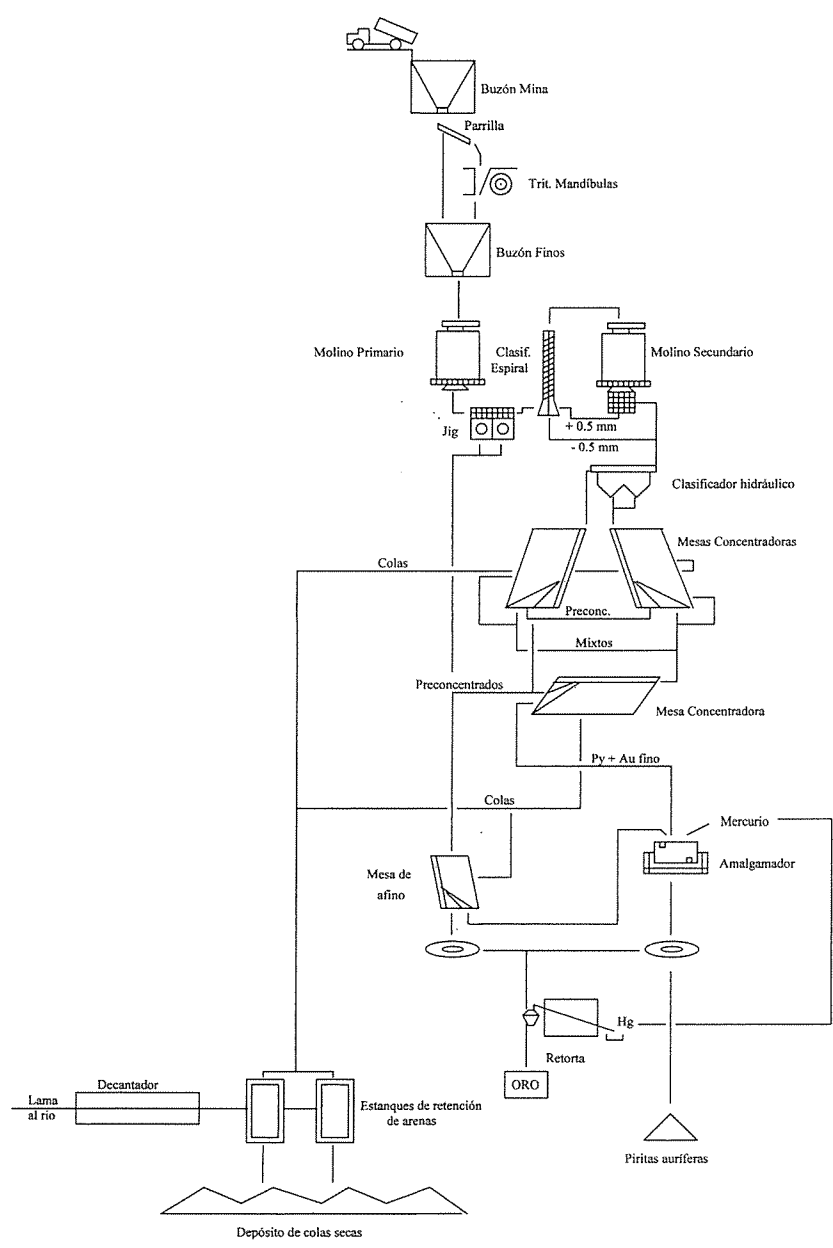
FLUJOGRAMA 3 COOPERATIVA 15 DE AGOSTO



FLUJOGRAMA 4 COOPERATIVA COTAPATA



FLUJOGRAMA 5
COOPERATIVA LA SUERTE



Resumen del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Colectivo “Plan ECO+” en Ecuador

Las siguientes tablas resumen en forma muy comprimida las más de 400 páginas del estudio mencionado en Cap. 7.3.

Los impactos ambientales y las medidas ambientales se encuentran ordenadas según las diferentes etapas del beneficio mineral en la región (actividad A hasta E) y sus subprocesos (p.ej. B1, B2, B3, etc.). Todos los diagramas de flujo de las instalaciones son modificaciones del diagrama generalizado en la Ilustración 14, que se caracterizan por la presencia o ausencia de ciertos componentes: Por ejemplo existen instalaciones que sólo ofrecen el servicio de molienda, otras que sólo realizan la cianuración, instalaciones que aplican varios procesos, etc. De esta forma a través del diagrama de flujo se puede identificar los impactos ambientales y determinar las medidas ambientales aplicables.

Los resultados de este estudio, y por lo tanto las siguientes tablas, son específicos para la región y la técnica de beneficio utilizada en la misma. Sin embargo, varios de los impactos ambientales son típicos para la pequeña minería aurífera en general, y las medidas ambientales propuestos para el caso concreto, pueden ser al mismo tiempo un punto de partida para el diseño de medidas ambientales y planes de intervención ambiental en otras regiones y bajo otras condiciones.

TABLA 1
 IMPACTOS (EFECTOS) AMBIENTALES PROVOCADOS POR EL BENEFICIO DE MINERALES
 EN LA ZONA DEL ESTUDIO

ACTIVIDAD	EFECTO EN EL MEDIO AMBIENTE	IMPACTO				EFECTO CON CONSECUENCIAS	
		Directo	Indi-recto	Inme-diato	A largo plazo		
A. Instalación de plantas							
A.1. Construcción de instalaciones mineras y colonización sin planificación	<i>Biológico</i> - Alteración del hábitat (nichos) de animales terrestres y acuáticos. - Pérdida de cobertura vegetal.	X X		X X	X X		
	<i>Social</i> - Desarrollo caótico, sin estructura básica (servicios públicos). - Conflictos y desplazamiento de otras actividades económicas. - Perjuicio al turismo y recreación. - Desequilibrios socio-económicos.	X X X X	X	X X X X	X X X X		
B. Molienda							
B.1. Ruido en las plantas de molienda	<i>Biológico</i> - Alteración del hábitat (nichos) de animales terrestres.		X		X		
	<i>Social</i> - Efectos sobre la salud de los mineros y trabajadores en las plantas de molienda	X		X	X		
B.2. Descarga de colas (pulpa) de las piscinas de sedimentación al río.	<i>Físico</i> - Incremento de la turbiedad en el río (sólidos en suspensión) - Cambio de las características físico-químicas del agua y de sedimentos del río Calera-Pindo-Puyango (incremento del contenido de metales pesados, incremento de sulfato, contenido de mercurio, etc.)	X X		X	X X		
	<i>Biológico</i> - Extinción de la ictiofauna - Pérdida de la cadena trófica en la cuenca alta del río Pindo - Acumulación de mercurio y metales pesados en la biota	X X	X	X	X X		
	<i>Social</i> - Daño a la pesca artesanal - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X	X	X	X X		
B.3. Emisiones de gases de mercurio	<i>Físico</i> - Incremento puntual de contenidos de mercurio en el aire.	X			X		
	<i>Biológico</i> - Acumulación de mercurio en la biota		X		X		
	<i>Social</i> - Efectos en la salud de los mineros y trabajadores en las instalaciones mineras	X		X	X		

B.4. Acumulación de relaves de plantas de molienda (Erosión física)	<i>Físico</i> - Descarga de sólidos en suspensión al río (turbiedad)	X		X	
	<i>Biológico</i> - Pérdida de la escasa cobertura vegetal	X		X	X
	<i>Social</i> - Cambio del paisaje original - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X	X	X	X X
B.5. Acumulación de relaves de plantas de molienda (Erosión química)	<i>Físico</i> - Surgimiento de drenajes ácidos desde las colas acumuladas		X		X
	<i>Biológico</i> - Daño a la escasa cobertura vegetal	X		X	X
	<i>Social</i> - Cambio del paisaje original - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X	X	X	X X
C. Cianuración					
C.1. Emisiones de gases de cianuro en las plantas de cianuración.	<i>Físico</i> - Incremento de contenidos de HCN en el aire	X		X	
	<i>Social</i> - Efectos en la salud de los mineros y trabajadores en las instalaciones mineras y de los moradores del sector	X		X	X
C.2. Desalojo al río Calera de soluciones desgastadas de cianuro con oro y metales pesados	<i>Físico</i> - Contaminación del agua del río Calera con metales pesados	X			X
	<i>Biológico</i> - Muerte de toda forma de vida acuática - Pérdida de la cadena trófica	X X		X X	
	<i>Social</i> - Daño a la pesca artesanal - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X	X	X	X X
C.3. Acumulación de relaves ya cianurados (Erosión física)	<i>Físico</i> - Descargas de sólidos al río en forma incontrolada	X		X	
	<i>Biológico</i> - Muerte de vida acuática - Pérdida de la escasa cobertura vegetal	X	X	X X	X
	<i>Social</i> - Cambio en el paisaje original. - Daño a la pesca artesanal - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X X	X	X X	X X
C.4. Acumulación de relaves ya cianurados (Erosión química)	<i>Físico</i> - Surgimiento de drenajes ácidos, con contenidos de cianuro	X		X	
	<i>Biológico</i> - Muerte de vida acuática - Pérdida de la escasa cobertura vegetal	X	X	X X	X
	<i>Social</i> - Cambio en el paisaje original. - Daño a la pesca artesanal - Perjuicio a la actividad agrícola en la cuenca baja del río Pindo-Puyango (riego)	X X	X	X X	X X

D: Refinación					
D.1. Emisiones de gases y vapores durante la calcinación	<i>Físico</i> - Contaminación del aire con metales pesados	X		X	
	<i>Biológico</i> - Acumulación de metales pesados en la biota		X		X
	<i>Social</i> - Efectos en la salud de los trabajadores y los moradores del sector.	X		X	X
D.2. Emisiones de gases nitrosos, durante el ataque de DORE con HNO ₃ , y descarga de soluciones ácidas	<i>Físico</i> - Contaminación del aire con NO _x	X		X	
	- Contaminación del agua con HNO ₃ y Me(NO ₃) _x	X		X	
	<i>Biológico</i> - Eliminación de los hábitats de la fauna terrestre.	X		X	X
	- Efectos en la cobertura vegetal.	X		X	X
	<i>Social</i> - Efectos en la salud de las personas que realizan directamente este trabajo.	X		X	X
	- Efectos en la salud de los moradores.	X			X
E: Proceso en general					
E.1. Explotación de recursos naturales no contaminados	<i>Físico</i> - Alteración red hídrica.	X			X
	<i>Biológico</i> - Deforestación	X		X	X
	- Alteración del hábitat de fauna terrestre	X		X	X
E.2 Manejo de basura industrial	<i>Físico</i> - Depósito desordenado de basura	X		X	
	<i>Biológico</i> - Fuente de enfermedades transmitidas por roedores e insectos		X	X	
	<i>Social</i> - Efectos en la salud de las personas que realizan directamente este trabajo	X		X	X
	- Efectos en la salud de los moradores	X			X

TABLA 2
ESQUEMA DE REGISTRO DE MEDIDAS INDIVIDUALES
(PLAN INDIVIDUAL DE MEDIDAS AMBIENTALES)

a.) Generalidades de la instalación: datos generales sobre mina, dueños, organización de los trabajos, etc., además:

Clase de las sustancias minerales a tratarse:	Menas auríferas (mineral primario)	si ?	no ?
	Arenas auríferas de molienda	si ?	no ?
	Mineral con sulfuros	si ?	no ?
	Mineral con óxidos	si ?	no ?
	Mineral con sulfuros y/u óxidos	si ?	no ?
Caracterización técnica de la Planta	Molienda:	si ?	no ?
	Amalgamación:	si ?	no ?
	Cianuración por percolación:	si ?	no ?
	Cianuración por agitación:	si ?	no ?
	Fundición	si ?	no ?
Diagrama de flujo	A? B? C? D? E? F? G? H? I? Otro? (especificar)		
Capacidad de la planta:	toneladas / día: toneladas / mes:		
Procedencia del mineral:	Mina propia:	si ?	no ?
	Compra de mineral:	si ?	no ?
	Alquiler de la planta:	si ?	no ?

b) Medidas ambientales a implementar

Medida A:

Impacto: Construcción sin planificación

Objetivo de la medida: Ordenamiento espacial y desarrollo industrial planificado

Descripción de la medida: Intervención del municipio, DINAMI y otros

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: TODOS

Declaración de una franja de 5m en la ribera del río como "franja de protección" o barrera forestal
Fortalecimiento de los municipios (por ejemplo, aplicación de ordenanzas)
Agua potable para trabajadores y moradores
Adecuación de escuelas, comedores y puestos de primeros auxilios para garantizar condiciones de higiene y salubridad.

Medida B1:

Impacto: Ruido en plantas de molienda.

Objetivo de la medida: Reducir o evitar peligros sobre la salud de los trabajadores y usuarios.

Descripción de la medida: Prevención y minimización del ruido

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: A, B, C, D, E

La medida debe aplicarse en la planta: si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Adquisición equipo de protección auditiva (orejeras de uso múltiple o tapones desechables)			Plazo:
Aislamiento de fuentes de ruido, especialmente por trituradoras			Diseño individual Plazo:
Calendario de mantenimiento de las máquinas			Mantenimiento semanal Plazo:
Distribución espacial de las máquinas			(para plantas en construcción)
Total			Sucres

Medida B2:

Impacto: Descarga de colas (pulpa) de la molienda al río

Objetivo de la medida: Reducir la contaminación del río con sólidos en suspensión.

Descripción de la medida: Control de los sobreflujos (colas) de las piscinas de sedimentación al río mediante piscinas de decantación, filtración y floculación.

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: A, B, C, D, E

La medida debe aplicarse en la planta: si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Separación de fracción de finos y gruesos (p.ej. hidroclasificador)			Método a especificar. Plazo:
Construcción de piscinas separadas (fino y grueso)			Diseño a especificar. Capacidad: Plazo:
Introducción de sistema de floculación			Método a especificar. Plazo:
Recirculación de agua clarificada al proceso			Plazo:
Total			Sucres

Medida B3:**Impacto:** Emisión de gases de mercurio**Objetivo de la medida:** Reducir la contaminación por mercurio**Descripción de la medida:** Control de las emisiones de gases de mercurio**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** A, B, C, D**La medida debe aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Adquisición de retortas para la quema de la amalgama			Min. 3 diferentes tamaños. Plazo:
Acondicionamiento de un área de amalgamación			Diseño a especificar. Plazo:
Instalación de tambor amalgamador			Capacidad: Plazo:
Adquisición y uso de equipo de protección personal - mascarillas y filtros especiales - guantes			Modelo, vida útil. Plazo:
Total			Sucres

Medida B4:**Impacto:** Erosión física de los relaves / colas.**Objetivo de la medida:** Reducir la contaminación del río con sólidos en suspensión.**Descripción de la medida:** Control de la erosión física de los relaves / colas.**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** A, B, C, D, E, F, G, H**La medida debe aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Construcción de muro de contención en la ribera del río			Diseño a especificar. Plazo:
Siembra de franja verde de 5m en la ribera del río			Diseño a especificar. Plazo:
Destinación de un espacio para acumulación de relaves			Capacidad: Plazo:
En caso de no disponer de espacio: venta de arenas			
Total			Sucres

Medida B5:

Impacto: Erosión química de los relaves / colas.

Objetivo de la medida: Reducir la contaminación del río con metales pesados

Descripción de la medida: Control de la erosión química de los relaves / colas.

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: B, C

La medida debe aplicarse en la planta: sí ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Construcción de cunetas y acequias para recolección y conducción de drenajes			Diseño a especificar. Plazo:
Construcción de pozos para neutralización			Diseño a especificar. Plazo:
Base impermeable de las colas			(Para plantas en construcción)
Total			Sucres

Medida C1:

Impacto: Manejo NaCN, emisión de gases HCN.

Objetivo de la medida: Protección de los trabajadores y uso racional de cianuro.

Descripción de la medida: Implementación de equipo de seguridad industrial para la protección personal contra las emisiones de gases de cianuro y contacto con arenas cianuradas

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: B, C, E, F, G, H, I

La medida debe aplicarse en la planta: sí ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Capacitación sobre peligro de cianuro			Plazo:
Implementación de programa 5S			Plazo:
Adquisición y uso de equipo de protección personal - mascarillas y filtros especiales - guantes - botas			Definir vida útil. Plazo:
Adecuación de bodega para reactivos químicos y manejo de envases utilizados			Diseño individual Plazo:
Implementación de laboratorio para control de parámetros cianuración			
Equipo mínimo a definir. Botiquín de primeros auxilios			Plazo: Contenido a definir. Plazo:
Total			Sucres

Medida C2:**Impacto:** Desalojo al río de soluciones de cianuro desgastadas**Objetivo de las medidas:** Reducción de la contaminación del río con cianuro y metales pesados**Descripción de la medida:** Prevención de la descarga de soluciones desgastadas de cianuro con oro y metales pesados al río Calera/Salado**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** B, C, E, F, G, H, I**Las medidas deben aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Contribución a la instalación y operación de una planta colectiva de detoxificación			Organización, administración y diseño a especificar. Plazo:
Instalación individual de un sistema de desintoxicación			Diseño a especificar. Plazo:
Total			Sucres

Medida C3:**Impacto:** Erosión física de colas ya cianuradas**Objetivo de la medida:** Reducción de la contaminación por sólidos en suspensión y metales pesados del río Calera/Salado**Descripción de la medida:** Prevención de la erosión física de relaves / colas ya cianurados**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** B, C, E, F, G, H, I**La medida debe aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Construcción de muro de contención en la ribera del río			Diseño a especificar. Plazo:
Siembra de franja verde de 5m en la ribera del río			Diseño a especificar. Plazo:
Determinar la capacidad de almacenamiento de arenas en el lugar de la instalación			Plazo:
Destinar espacio para colas			Plazo:
Suscribir pre-contrato para limpieza y evacuación de desechos mineros			Plazo:
Implementación de programa colectivo para almacenar los relaves			Programa por definir. Plazo:
Total			Sucres

Medida C4:**Impacto:** Erosión química de colas ya cianuradas**Objetivo de la medida:** Reducción de la contaminación con metales pesados del río Calera/Salado**Descripción de la medida:** Prevención de la erosión química de los relaves / colas ya cianuradas**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** B, C, E, F, G, H, I**La medida debe aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Construcción de fundamentos impermeables en áreas destinadas para colas			Diseño por especificar. Plazo:
Construcción de fundamentos de cemento en áreas de carga y descarga			Diseño por especificar. Plazo:
Cuneta colectora y pozo de neutralización para drenajes ácidos y soluciones de cianuro			Diseño individual. Plazo:
Total			Sucres

Medida D1 y D2:**Impacto:** Emisión gases calcinación/fundición, emisión de gases nitrosos**Objetivo de la medida:** Reducción de la contaminación del aire y protección de la salud de los trabajadores y moradores**Descripción de la medida:** Control de las emisiones de gases y otros durante la calcinación, fundición y refinación**Aplicable para plantas con diagrama de flujo:** B, C, E, F, G, H, I**La medida debe aplicarse en la planta:** si ? no ?

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Destinación de un área de calcinación/fundición			Diseño individual. Plazo:
Instalación de horno, campana y ducha para gases de calcinación / fundición			Diseño individual. Plazo:
Instalación de campanas extractoras (sorbona), filtro y ducha alcalina para gases nitrosos			Diseño individual. Plazo:
Adquisición y uso de equipo de seguridad industrial - guantes - mascarillas con filtros - anteojos - ropa para aislar el calor			Modelos, vida útil.
Instalación de botiquín de primeros auxilios			Contenido a especificar. Plazo:
Total			Sucres

Medida E1:

Impacto: Explotación de recursos naturales

Objetivo de la medida:

Descripción de la medida: Aprovechamiento racional de recursos naturales e insumos mineros

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: TODOS

Programa de concientización y educación ambiental
Difusión de manuales y guías técnicas
Asesoría técnica para la implementación de nuevos procesos

Medida E2:

Impacto: Manejo de basura industrial y doméstica

Objetivo de la medida:

Descripción de la medida: Ordenamiento y limpieza en general

Aplicable para plantas con diagrama de flujo: TODOS

En caso positivo:	cantidad	~ valor	anotaciones
Implementación de programa de calidad ambiental "5S"			
Reorganización espacial de la instalación			Plazo:
Reciclaje de basura			
Total			Sucres

ANEXO 3

Norma técnica:

El uso del mercurio en la minería

1. General

- 1.1 El Mercurio es un elemento tóxico en todas sus formas, líquido, gas (vapor) y en sus compuestos. En la minería, se lo utiliza para amalgamar el oro fino y para su separación de otros minerales.
- 1.2 El uso del mercurio debe ser de tal, que este elemento no pueda afectar cuerpos de aguas (subterráneas y superficiales), ni ser emitido al aire, ni descargado al suelo

2. Transporte y almacenamiento

El transporte de mercurio y su almacenamiento debe efectuarse con la garantía de no perder este elemento, en forma líquida ni en forma de gas

- 2.1 Para el almacenamiento se debe utilizar envases irrompibles (nunca de vidrio) con cerradura hermética. El Mercurio debe estar cubierto con una capa de agua o kerosene.
- 2.2 El mercurio se debe almacenar fuera del alcance de niños
- 2.3 El mercurio se debe almacenar lejos de los alimentos y fuera de las viviendas
- 2.4 En caso de derrame de mercurio, este debe recogerse o recuperarse completamente. Las gotitas sueltas se las puede succionar con una jeringa, si la cantidad es más grande hay que coleccionar las gotas de mercurio con un cepillo o utilizando agua para juntarlos y luego recuperarlo. Si el mercurio se ha infiltrado al suelo, hay que extraer y lavar este y concentrar el mercurio utilizando un método gravimétrico (batea o canaleta).

Se requiere cuidado especial cuando se derrama mercurio en viviendas u otras piezas cerradas, porque el mercurio expuesto al aire se

evapora lentamente, contaminando así el aire en el ambiente cerrado.

3. Uso de mercurio en la amalgamación de oro

- 3.1 Está prohibido utilizar mercurio en circuito abierto. Esto significa, que la carga que se ha puesto en contacto con mercurio o el agua utilizada en el proceso, puedan entrar a cuerpos de agua o al suelo.
 - 3.1.1 Está prohibido utilizar mercurio en molinos de bolas, de barras, de martillos, de pisones o en molinos trapiches.
 - 3.1.2 Está prohibido utilizar mercurio en canaletas o lavaderos.
 - 3.1.3 Está prohibido utilizar mercurio en jigs, sobre mesas concentradoras, en centrífugas o cualquier otro equipo de concentración gravimétrica.
 - 3.1.4 Está prohibido echar mercurio a la carga bruta (in situ, en buzones, etc.).
 - 3.1.5 Está prohibido utilizar placas o planchas amalgamadoras en circuito abierto.
- 3.2 Es obligatorio, minimizar la cantidad de material que se pone en contacto con mercurio.
 - 3.2.1 El oro grueso debe separarse de los minerales pesados antes de la amalgamación y solo se debe amalgamar la carga fina.
 - 3.2.2 Hay que enriquecer el concentrado al máximo posible.
- 3.3 Hay que utilizar un método de amalgamación que minimice la producción de harina de mercurio. Está prohibido, combinar molien-da y amalgamación.
 - 3.3.1 Los tambores amalgamadores deben funcionar a bajas revoluciones para no sobremoler el mercurio.
 - 3.3.1 Hay que determinar el tiempo necesario para la amalgamación y no sobrepasar este.
 - 3.3.2 Hay que evitar la amalgamación a pulso. Si se lo usa, solo para pequeñas cantidades de concentrado, deben seguirse las siguientes recomendaciones:
 - uso de guantes
 - fuera de piezas cerradas
 - buena ventilación

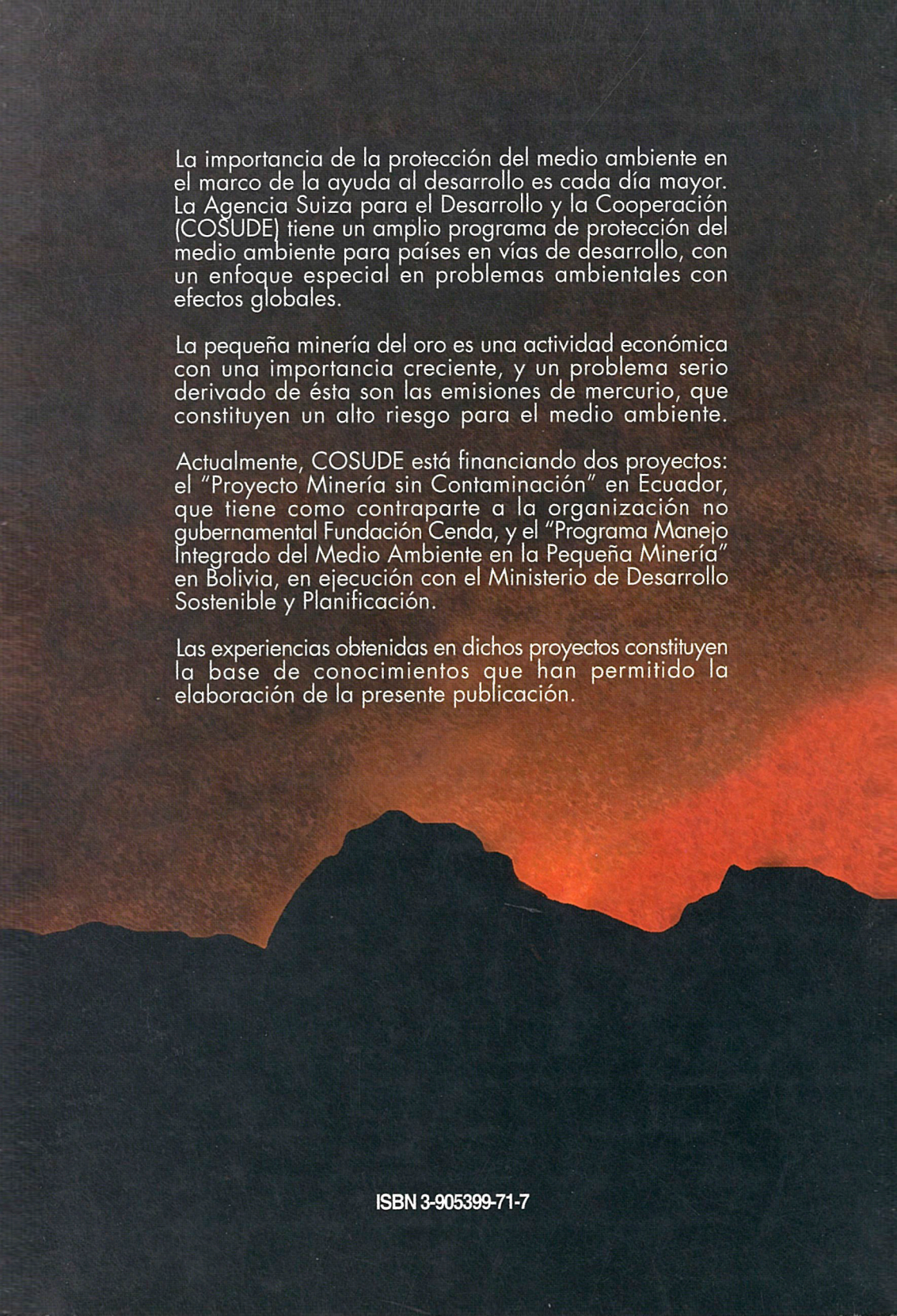
- 3.4 Las colas de amalgamación todavía contienen mercurio, sobre todo en forma atomizada (harina de mercurio).
 - 3.4.1 Está prohibido echar colas de amalgamación a cuerpos de agua o depositarlas inadecuadamente.
 - 3.4.2 Las colas de amalgamación deben almacenarse bajo techo (con ventilación) y sobre piso impermeable
 - 3.4.3 Si las colas de amalgamación no pueden ser vendidas como subproductos auríferos, deben ser depositadas finalmente en condiciones que garanticen el cumplimiento del artículo 1.2
 - 3.4.4 Si las colas de amalgamación son reprocesados utilizando tostación, hay que asegurar con filtros apropiados que el mercurio no escape a la atmósfera. De los polvos del filtro, el mercurio debe recuperarse o se los tiene que depositar, cumpliendo con el artículo 1.2.
 - 3.4.5 Si las colas de amalgamación son retratadas por otros procesos gravimétricos, químicos o físicos, hay que cumplir con el artículo 1.2 y depositar los residuos finales en forma apropiada.
- 3.5 La amalgama y el mercurio no amalgamado deben recuperarse al máximo del concentrado amalgamado. El mercurio residual en las colas de la amalgamación debe ser mínimo.
- 3.6 Hay que exprimir la amalgama obtenida por amalgamación al máximo posible (preferentemente bajo agua caliente o usando una prensa) para recuperar la mayor cantidad del mercurio líquido no amalgamado.
- 3.7 El mercurio exprimido se debe reutilizar en el proceso, después de limpiarlo adecuadamente (con detergentes, hidróxido de sodio, ácidos diluidos, etc., o destilándolo en una retorta)
- 3.8 La separación de mercurio y oro tiene que ser efectuada de tal manera, que se recupere al máximo el mercurio utilizado y que se cumpla con el artículo 1.2.
 - 3.8.1 Está prohibido quemar amalgama al aire libre, debido a que el vapor de mercurio que escapa a la atmósfera no puede ser recondensado y recuperado.
 - 3.8.2 Para quemar la amalgama, es obligatorio utilizar un recuperador de mercurio; esto puede ser:
 - Una retorta, que es un crisol herméticamente cerrado con tubo de enfriamiento para recuperar el mercurio en forma

líquida. La retorta tiene que ser de un modelo apropiado y en buen estado para evitar el escape de gas de mercurio. El funcionamiento de la retorta (cierre hermetico, condensación total del mercurio) debe ser probado a intervalos regulares.

- Un horno para la quema de la amalgama con un sistema de enfriamiento y condensación de los gases de mercurio. El funcionamiento del sistema de condensación debe ser probada a intervalos regulares.
- Otro sistema de condensación o filtro, que permite la recuperación del mercurio.

3.8.3 Disolviendo la amalgama con ácido nítrico, el mercurio se queda en la solución (el liquido) en forma de nitrato de mercurio. Está prohibido echar esta solución a cuerpos de aguas o al suelo. Hay que almacenar la solución en bidones plásticos para la siguiente etapa de recuperación del mercurio por cementación con cobre u otros metales.

3.9 El mercurio recuperado hay que reutilizarlo en el proceso, después de limpiarlo adecuadamente (con detergentes, hidroxido de sodio, ácidos diluidos, etc.)



La importancia de la protección del medio ambiente en el marco de la ayuda al desarrollo es cada día mayor. La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) tiene un amplio programa de protección del medio ambiente para países en vías de desarrollo, con un enfoque especial en problemas ambientales con efectos globales.

La pequeña minería del oro es una actividad económica con una importancia creciente, y un problema serio derivado de ésta son las emisiones de mercurio, que constituyen un alto riesgo para el medio ambiente.

Actualmente, COSUDE está financiando dos proyectos: el "Proyecto Minería sin Contaminación" en Ecuador, que tiene como contraparte a la organización no gubernamental Fundación Cenda, y el "Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería" en Bolivia, en ejecución con el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

Las experiencias obtenidas en dichos proyectos constituyen la base de conocimientos que han permitido la elaboración de la presente publicación.