

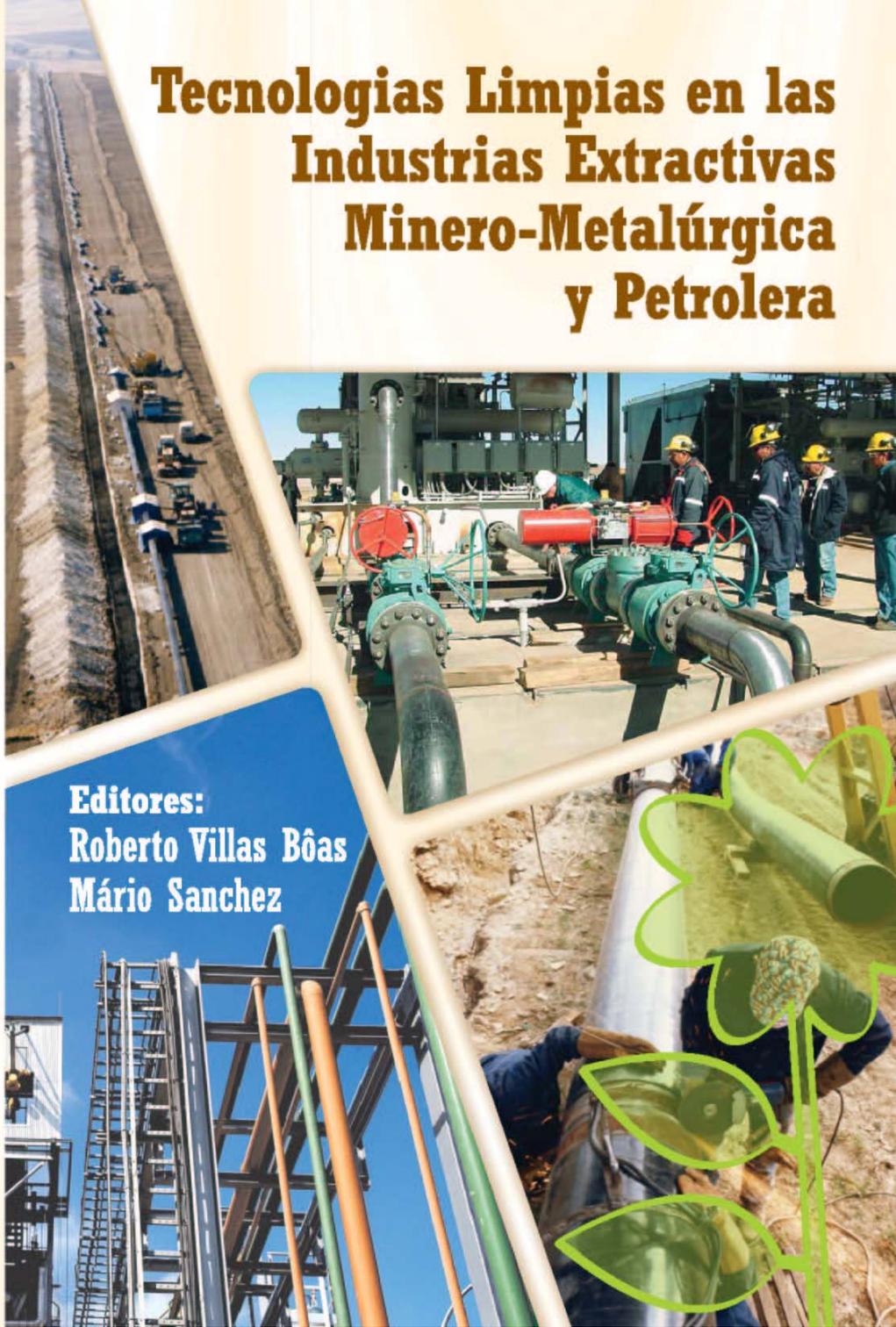
**CETEM**

**Tecnologias Limpias en las Industrias Extractivas  
Minero-Metalúrgica y Petrolera**

**CYTED**

# **Tecnologias Limpias en las Industrias Extractivas Minero-Metalúrgica y Petrolera**

**Editores:  
Roberto Villas Bôas  
Mário Sanchez**



# TECNOLOGÍAS LÍMPIAS EN LAS INDÚSTRIAS EXTRACTIVAS MÍNERO-METALÚRGICA Y PETROLERA

Jornadas Iberoamericanas  
CFCE de Santa Cruz de la Sierra (Bolivia),  
12 a 16 de junio de 2006



Roberto C. Villas-Bôas  
Mario Sánchez Medina  
Editores



ALFA

TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LAS INDUSTRIAS EXTRACTIVAS  
MINERO-METALÚRGICA Y PETROLERA  
Jornadas Iberoamericanas, CFCE de Santa Cruz de la Sierra (Bolivia),  
12 a 16 de junio de 2006

Para copias extras:

Roberto C. Villas Bôas  
e-mail: villasboas@cetem.gov.br  
CYTED-XIII – w3.cetem.gov.br/cyted-xiii  
Rua 4, Quadra D, Cidade Universitária  
21941.590, Ilha do Fundão  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Mario Sanchez  
e-mail: [www.udec.cl/msanchez/](mailto:www.udec.cl/msanchez/)  
Departamento de Ingeniería Metalúrgica  
Universidad de Concepción (www.udec.cl)  
Edmundo Larenas 285 - Concepción - Chile  
Secretaría: Tel 56-41-204241, Fax 523591

Organización Santa Cruz  
Víctor Navalpotro - Director AECI

Comunicación Ejecutiva  
Suzana Ferrandiz – CYTED-España  
Rosário Fuertes – AECI-Bolivia

Actividades Consorciadas  
Mario Sánchez – ALFATECLIM - Univ. Concepción-Chile  
Hugo Nielson – Ejecutivo OLAMI  
Maria Lucilene Araujo B. Velo – CNPq-Brasil  
Roberto C. Villas Bôas – CETEM-BRASIL

Coordinación General  
Roberto C. Villas Bôas – CETEM-BRASIL  
Mario Sánchez – ALFATECLIM – Univ. Concepción-Chile

Fátima Engel  
Portada, Composición y Ejecución Gráfica

Jornadas Iberoamericanas (Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: 12-16  
de junio de 2006)

Tecnologías limpias en las industrias extractivas  
minero-metalúrgica y petrolera / Roberto C. Villas-Bôas; Mario  
Sanchez, eds. - Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / CYTED /  
AECI, 2006  
352p.: il

1. Tecnologías Limpas 2. Meio ambiente 3. Industria mineral  
4. Industria petrolífera I. Centro de Tecnología Mineral II. Villas  
Boas, Roberto C., Ed. III. Mario Sanchez Ed. IV. Título

ISBN 85-7227-236-4

CDD 667.1

Roberto C. Villas Bôas  
Mario Sanchez  
Editores

## PRESENTACIÓN

Una vez más se contorcían el programa CYTED, el Proyecto ALFATECLIM y la AECI en la conducción de los ejercicios sobre las TECNOLOGIAS LIMPIAS, realizados en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, ahora discutiendo las áreas de minería, petróleo y gas.

Mais uma vez consorciam-se o Programa CYTED, o Projeto ALFA-TECLIM e a AECI para a condução dos exercícios sobre TECNOLOGIAS LIMPAS, realizados em Santa Cruz de la Sierra, Bolívia, agora discutindo as áreas da mineração, petróleo e gás.

Estas JORNADAS son consideradas como precursoras de la VII CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGIAS LIMPIAS PARA LA INDUSTRIA MINERA que ocurrirán en Octubre del 2006 en la localidad de Búzios, litoral brasileño y cerca de 150km N de Rio de Janeiro.

Estas JORNADAS são consideradas como precursora da VII CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGIAS LIMPAS PARA A INDUSTRIA DA MINERAÇÃO que ocorrerão em Outubro de 2006, na cidade de Búzios, litoral brasileiro, e cerca de 150km N do Rio de Janeiro.

Invitamos a los lectores a aprovechar los artículos que se presentan en este libro y a compartir con nosotros, que asistimos e estas JORNADAS, el placer de las temáticas presentadas y propuestas.

Convidamos aos leitores a aproveitar dos artigos que são apresentados neste livro e a compartilhar conosco, que estivemos presentes às JORNADAS, o prazer dos temas apresentados e propostas.

Santa Cruz de la Sierra, Julio de 2006.

*Roberto C. Villas Bôas*  
Coordinador CYTED

*Mario Sánchez Medina*  
Coordinador ALFA-TECLIM  
Editores

## INDICE

### INTRODUÇÃO / INTRODUCCIÓN

A Produção dos Materiais e o Meio Ambiente

La Producción de los Materiales y el Medioambiente

A Produção dos Materiais e o Meio Ambiente, *Roberto C. Villas-Bôas* ..... 3

### CAPÍTULO 1

Uma Apresentação de Caso: Tecnologias Limpas para o Cobre

Una Presentacion de Caso: Tecnologías Limpas para el Cobre

Importancia del Desarrollo de Tecnologías Limpas para la

Industria Del Cobre, *Mario Sánchez* ..... 17

### CAPÍTULO 2

Gestão Ambiental e Produção Limpa

Gestión Ambiental y Producción Limpia

Gestão Ambiental Subterrânea, *Vidal Félix Navarro Torres* ..... 35

Gestión del Impacto Medioambiental de la Industria

Extractiva Española, *Dr. Arsenio González Martínez, Domingo*

*Javier Carvajal Gómez* ..... 49

Propuesta para el Diseño de un Acuerdo de Producción Mas

Limpia para el Sector de los Minerales No Metálicos, *Beatriz*

*Olivo Chacín* ..... 61

Hacia una Sociedad de Tecnologías Limpas, *R. Osiris de León* ..... 69

Las Tecnologías Limpas en la Minería y los Contextos Sociales

de Su Aplicación en Iberoamérica, *Juan Manuel Montero Peña* ..... 87

Manejo de Desechos en Operación Minera a Cielo Abierto,

Tecnología Limpia en Empresa Minera Inti Raymi S.A. Oruro –

Bolivia, *Marwin Columba C.* ..... 99

### CAPÍTULO 3

Indicadores de Sustentabilidade e o Ordenamento Territorial

Indicadores de Sostenibilidad y Ordenamiento Territorial

Portugal: a indústria extractiva a caminho de uma economia dos georrecurso, *Luís Rodrigues da Costa* ..... 109

Indicadores de Sostenibilidad de la Actividad Minera con Base

en el Ordenamiento del Territorio: Conflictos entre el Suelo -

Subsuelo y Capacidad de Acogida del Territorio para la

Minería, *Alejandra Ortega* ..... 131

La Problemática Socioambiental en la Zona Minera de Zaruma

y Portovelo, *Vilma Dolores Pazmiño Quiña* ..... 141

### CAPÍTULO 4

Garimpos e Produção Limpa

Pequeña Minería y Producción Limpia

La Pequeña Minería en el Perú, *Ana Villegas* ..... 151

<b>Tecnologías Limpias en la Industria Minera Boliviana, Bady I. Mancilla S., Soledad Siñani Q.</b> .....	181
<b>La Concentracion Centrifuga, Una Alternativa para Recuperar Oro Fino a Partir de Residuos Gravimetricos y Su Relacion Con la Mitigacion Ambiental, Armando Álvarez Quispe</b> .....	193
<b>Programa de Capacitación para Mejorar Índices de Producción en Minería Pequeña y Cooperativa: El Rol de la Escuela de Minería del Servicio Nacional de Geología y Tecnico de Minas (SERGEOTECMIN), Renato Veneros</b> .....	209
<b>Tecnologías Limpias Uso Adecuado del Mercurio: "Retorta Comunal", Guillermo Medina Cruz</b> .....	219
<b>Procesamiento de Mineral y El Uso de Mercurio en Untuca - Gama - Medmin, Félix Carrillo Claros</b> .....	229
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>Drenagem Ácida e Alguns Problemas Ambientais</b>	
<b>Drenage Acido y Algunos Problemas Ambientales</b>	
<b>Tratamiento Fisico-Químico de Drenajes Ácidos de Mina: Manejo Ambiental de Lodos de Alta Densidad – Estabilidad – Deposición Final y Aplicaciones, Gerardo Zamora E.</b> .....	245
<b>Desarrollo Sustentable en el Sector Minero Metalúrgico Peruano, Luis Orihuela Salazar</b> .....	259
<b>Tecnologías Limpias en Guatemala, Gladis Menchu</b> .....	271
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>Petróleo e Gás</b>	
<b>Petróleo y Gas</b>	
<b>La Industria del Petróleo en Cuba: Mejoras en el Proceso Productivo de Una Empresa en el País, Marlene García, Orestes Sardiñas y Marlén Palet</b> .....	279
<b>Análisis Comparativo de Riesgos Social y Ambiental de Gas Natural/Gas LP Teniendo Como Escenario Una Colonia de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Molinar Ceseña Rafael; Ramírez Meda Walter; Villalvazo Naranjo Juan</b> .....	291
<b>Aplicación de Tecnologías Limpias en el Manejo de Aguas Residuales de la Explotación Petrolera en Ecosistemas Sensibles, Guido Yáñez Quintana</b> .....	305
<b>Eficiencia Energética e Inventario de Gases de Efecto Invernadero en la Industria Petrolera - Caso: Compañía Petrolera ABC Ecuador, Mauricio Meza</b> .....	313
<b>ANEXO</b>	
<b>Uma Proposta</b>	
<b>Una Propuesta</b>	
<b>Creación de Fondo de Apoyo a la Producción Minera Más Limpia. FONAPROMIN-ML, Jorge Coddia Arroyo</b> .....	329

**INTRODUÇÃO**  
**INTRODUCCIÓN**

**A Produção dos Materiais e o  
Meio Ambiente**  
**La Producción de los Materiales y el  
Medioambiente**

---

## **A PRODUÇÃO DOS MATERIAIS E O MEIO AMBIENTE**

*Roberto C. Villas-Bôas*  
Chairman IMAAC/UNIDO  
Coordenador Internacional CYTED-XIII  
Vocal CYTED – Área Industria  
Vice-Presidente OLAMI  
Pesquisador Titular CETEM/MCT  
<http://cetem.gov.br/imaac>  
<http://cetem.gov.br/cyted-xiii>

---

### **RESUMO**

Os materiais desempenham papel fundamental no desenvolvimento de uma nação e manutenção de sua participação na economia mundial. Não há nação desenvolvida que não tenha uma forte indústria minero-metalúrgica e/ou disponibilidade de acesso à mesma !

Contudo, qualquer material, sendo resultado de um processo de produção, possui no seu ciclo de transformação (extração, processamento, fabricação e manufatura) pelo menos um estágio no qual efluentes, quer sejam, sólidos, líquidos ou gasosos, são expelidos ao meio ambiente.

Esta introdução ao livro analisa alguns dos problemas ambientais associados à extração e processamento de alguns metais ou compostos químicos de origem mineral, de interesse ao engenheiro de minas, químico ou metalúrgico, que lide com o beneficiamento de minérios ou hidrometalurgia, visando o projeto e a produção de produtos e processos ambientalmente amigáveis, conhecidos como "green designs" !

Na sua versão original, o texto em Inglês foi apresentado como Conferencia Plenária junto ao Churchill College, sob a égide da Hydromet, bem como, numa outra versão, como capítulo do livro *Technological Challenges Posed by Sustainable Development: The Mineral Extraction Industries*, publicado pelo CYTED e IMAAC/UNIDO.

Este texto foi preparado especialmente para as JORNADAS IBEROAMERICANAS SOBRE TECNOLOGIAS LIMPIAS, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia, 12-16 Junio, 2006, embora mantendo, essencialmente, a versão original !

### **1. INTRODUÇÃO**

A produção e utilização de materiais em geral e, em consequência, aquela de minérios e metais, obedecem, dentro de um determinado quadro de desenvolvimento industrial, os ciclos econômicos atuantes num, igualmente, determinado referencial de tempo. Tais ciclos já foram exaustivamente descritos na literatura (1)(2)(3)(4) e podem refletir tendências mundiais, locais ou, mesmo, geopolíticas.

Tendo em vista que a seleção de um determinado grupo de materiais depende do ciclo predominante nos países industrializados, estes determinarão, em maiores ou menores graus, os padrões de consumo de uma dada "commodity", induzindo ao mercado adaptar-se a esta nova realidade.

Naquelas indústrias intensivas em materiais, duas estratégias surgem: há uma busca de materiais que venham a se adequar a uma dada tecnologia (caso da indução descrita no parágrafo anterior), ou, alternativamente, o desenvolvimento de tecnologia para o material disponível (caso em que o material em causa seja difícil de se comprar, ou a situação geopolítica esteja conflituosa).

Os materiais reciclados, cuja magnitude de uso nas indústrias varia de acordo com o estágio econômico de uma particular economia, necessita, como regra geral, de menos capital e gasto energético e mais mão-de-obra do que os empregados na extração primária, a partir do minério. Também, em geral, exigem menores custos de controle da poluição ! Entretanto, a reciclagem se torna mais intensa com o aumento da sofisticação da economia, pois que, então, quantidades apreciáveis de material a ser reciclado se tornam disponíveis !

Os materiais, durante os seus processos produtivos, produzem importantes alterações no meio-ambiente: requerem energia para serem processados, terras nas quais se instalem suas fábricas, áreas de recebimento de dejetos resultantes dos processos produtivos, além de expelirem gases e poeiras e requererem água e movimentação de terra !

Na verdade, já de há muito estes fatos são conhecidos, e algumas ações foram tomadas, aqui e ali, no sentido de minimizar as consequências de tais efeitos, deixando-os dentro de "limites aceitáveis de tolerância", que variam de tempos em tempos.

Tal variabilidade é devida às pressões sociais, as quais forçam legislações, as quais promovem alternativas tecnológicas de processo, as quais, por fim, refletem-se na economia !

Naquilo que diz respeito à temática ambiental e extração mineral, duas questões surgem; a primeira, qual é o efeito relativo à produção, rejeito e uso dos materiais ? A segunda, quais são suas disponibilidades num futuro previsível ?

Este capítulo abordará a primeira questão, através da análise e comentário de algumas "commodities" !

## 2. A RECUPERAÇÃO MÉDIA DOS METAIS E SUAS ETAPAS DE PRODUÇÃO

Para que qualquer material seja produzido há etapas de produção nas quais rejeitos também são gerados. Estes rejeitos podem ser genericamente classificados em duas grandes categorias: perdas e efluentes.

**Perdas** são definidas como aqueles rejeitos facilmente identificáveis a partir do material produzido, ou sejam, partes do material que vão se deixando para trás ao longo do processo produtivo.

**Efluentes** são rejeições originadas destas mesmas etapas de produção inerentes à tecnologia utilizada dentro de cada etapa, mas não necessariamente identificadas ao material principal !

### 2.1. A Recuperação Média dos Metais

Numa tentativa de sistematizar a análise dos impactos ambientais dos rejeitos oriundos da indústria minero-metalúrgica, tomem-se, por exemplo, os metais e conceituem-se, quantificando-as, as denominadas **perdas médias metálicas**.

É bem conhecido o fato de que as recuperações associadas aos minérios, desde a mina até o produto final, variam de economia para economia, de país para país, sendo as mesmas funções das tecnologias empregadas, das leis vigentes ou acatamentos voluntários de regulamentações ambientais e sociais, hoje em dia muito em voga, capacidade financeira das empresas, habilidade no trato industrial e ambiental e etc..; da mesma forma, são os impactos ambientais causados pela produção primária e secundária, através da reciclagem, dos metais !

Assim, dados sobre recuperações e perdas médias, de metal para metal, e, mesmo, de um mesmo metal de país para país, ainda quando utilizem tecnologias similares, podem apresentar variações apreciáveis ! Isto se deve às denominadas "particularidades" do mundo mineral; a saber: a combinação ótima entre o teor de corte da jazida, ou seja o limite lavrável, e o compromisso entre recuperação e teor do concentrado, tornando cada jazida única nas suas características físicas e econômicas !

Outras variáveis mantidas iguais, tanto menor será o teor, ou pobre a qualidade do minério, tanto maior será o custo de recuperação do produto de interesse. À medida em que há uma escolha do teor do minério a ser minerado, há também uma escolha da massa total a ser extraída, bem como do total recuperado do produto; quanto menor o teor permitido, maior a massa extraída.

Dessa forma, a fixação do teor de corte em jazidas com graus irregulares de distribuição de teores poderá requerer várias sequências de

computações alternativas entre teores e massas, obviamente em função das hipóteses sobre os limites de lavra.

Igualmente importante é a trabalhabilidade do minério, medida pelo custo da remoção física da rocha. Outros fatores, como acesso à mina, espessura e regularidade da zona mineralizada, dureza, presença de estruturas interferentes e etc.. são parâmetros de cômputo e decisão a considerar !

Variações quanto ao teor e trabalhabilidade de um corpo mineral, podem acompanhar-se mutuamente, e, mesmo, compensarem-se uma à outra ! Minérios de diferentes teores e custos, mas suficientemente similares em outras características que os tornem insumos do mesmo processo de beneficiamento poderão ser extraídos ou homogeneizados visando uma recuperação proveitosa ou, caso contrário, permanecerão como minérios paramarginais !

Uma remoção completa de todo o minério disponível na mina, ou lavra total, nunca é conseguida, mesmo porque não almejada, tendo em vista que o custo de extração por unidade recuperada cresce continuamente e, em geral, aceleradamente, quando tentativas são executadas para incrementar o percentual extraído !

No curto prazo, para uma dada usina de beneficiamento, o percentual lavrável dependerá, em boa proporção, do teor do minério; o método de lavra normalmente limita a recuperação do minério na boca da mina (6)(7).

Igualmente, a tecnologia de processo. Como exemplo interessante tem-se, para a lixiviação de ouro, as recuperações mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Recuperações de Ouro por Processos de Lixiviação (8)**

OPERAÇÃO	PART ICULA	RECUPERAÇÃO	TEMPO	CUSTO
Agitação	≤ 0,1 mm	90 a 95 %	>20h	IN+OP
Vat	≤ 10 mm	70 a 80 %	3 a 4 h	IN
Pilha	> 10 mm	40 a 60 %	3 a 4 s	IN + OP

Onde,

IN = custos de investimento

OP = custos operacionais

h= hora

s= semana

Vejam-se, agora, algumas "commodities" minerais selecionadas, quanto às suas recuperações e teores, tal como mostrado na Tabela 2, onde MC equivale à massa do concentrado produzido referente àquela do minério total, em percentagem, e MR é a recuperação em massa, ou seja,

aquilo recuperado da “commodity”, em questão, relativa à quantidade de minério na boca mina (“run of mine”). Estes índices percentuais, por sí sós, fornecem a dimensão do problema ambiental enfrentado !

**Tabela 2 – Recuperação x teor para algumas “commodities”**

MINÉRIO	RECUPERAÇÃO	TEOR	EMPRESA
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (3%) Pirocloro	MC = 3,3% MR = 66%	60% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> concentrado	CBMM (9)
TiO <sub>2</sub> (1,5%) Ilmenita	MC = 2,2% MR = 81%	55%TiO <sub>2</sub> concentrado	RIB (9)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (17%) Cromita	MC = 28% MR = 65%	37-46%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> concentrado	FERBASA (9)
WO <sub>3</sub> (0,5%) Schelita	MC = 0,49% MR = 79%	75% WO <sub>3</sub> concentrado	TUNGST (9)
SnO <sub>2</sub> (1,3%) Cassiterita	MC = 1,9% MR = 69,1%	48% Sn concentrado	RENISON (10)
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (0,16%) Tantalita	MC = 0,22 MR = 70%	49%Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> concentrado	BERNIC (10)

Outro exemplo bastante ilustrativo do sinergismo recuperação, teor, massa recuperada, movimento de terra para acesso ao corpo mineral, subprodutos gerados etc.. é o da produção de fertilizante fosfatado, a partir de rocha vulcânica, o qual, além dos problemas de manuseio de terra e solo e disposição de rejeitos, gera, no seu processamento, cinco vezes mais massa, em gesso, daquela do concentrado de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> produzido, ao reagir com ácido sulfúrico.

## 2.2. As Etapas de Produção

Num processo produtivo podem-se identificar quatro etapas, a saber extração, processamento, fabricação e manufatura, assim definidas:

- **a etapa de extração** envolve a lavra e o beneficiamento do minério, resultando como produto o concentrado comercial; nesta etapa, as perdas dependem do método de mineração empregado, seja ele a céu aberto, câmara e pilares, corte e enchimento, etc.. e das técnicas de beneficiamento, sejam elas gravíticas, flotação, e outras. Os efluentes gerados são CO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, a partir das máquinas e equipamentos, as águas de processo, lençol freático contaminado, material particulado e movimentação de solo e terra.
- **a etapa de processamento** envolve as operações metalúrgicas e/ou químicas na conversão do concentrado em metal ou composto; as perdas dependem da tecnologia seguida e habilidades e tecnologias disponíveis (piro, hidro e/ou eletro); os efluentes são gases, CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, bem como líquidos, na forma de metais pesados contidos

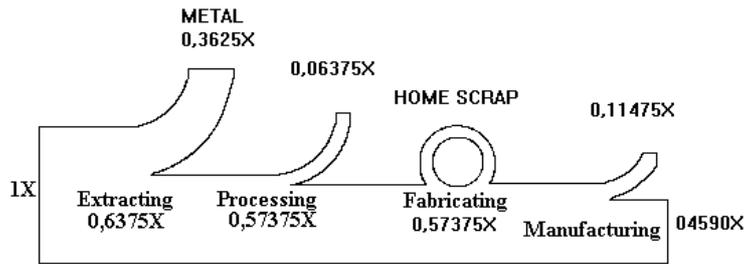
nas águas de processamento, e sólidos, tais como sedimentos e poeiras de metais pesados.

- **a etapa de fabricação** envolve aquelas operações destinadas ao fabrico de barras, chapas, etc...; as perdas neste caso são recirculadas "ad infinitum", sem perdas do material (11); os efluentes são as águas servidas e gases industriais.
- **a etapa de manufatura** envolvendo a aplicação de operações mecânicas para a conformação dos metais, tais como estamparia e forja; as perdas são identificadas com as partes do metal resultantes de tais conformações que não produzam o produto desejado (11)(12)(13)(14), sendo a reciclagem bem organizada e eficiente, mas não total(12)(13); os efluentes são vapores de água e gases industriais.

Os dados sobre a "**recuperação média dos metais**" referentes às etapas de **extração** e **processamento** foram obtidos a partir de Hasialis (15) e para a etapa de **manufatura** a partir de Mar (14). Chame-se a atenção para o fato de que os dados desta última referencia são bastante antigos para os Estados Unidos, tendo sofrido alterações substanciais ao longo destes anos; entretanto, para aquelas partes do mundo que não estão utilizando "Best Available Technologies" os mesmos ainda podem ser representativos ! De qualquer maneira, o importante aqui é o argumento, qualquer que seja o número que o represente, o qual deverá ser pesquisado e levantado para cada caso específico.

Quanto aos dados fornecidos por Hasialis, representam valores médios e, como é natural, grandes variâncias existem para cada caso particular de interesse. Entretanto, mais uma vez, vale o argumento, deixando ao leitor a tarefa de indagar quais seriam os dados representativos para o seu próprio caso de interesse.

As etapas de produção estão representadas na FIGURA 1, que é um diagrama de Sankey, ou de tiras, envolvendo as quatro etapas descritas.



**Figura 1 – Diagrama de Sankey das Etapas de Produção**

Onde (da figura original de minha conferencia junto ao Churchill College):  
Extracting = Extração; Processing = Processamento; Fabricating = Fabricação; Manufacturing = Manufatura; Home Scrap = Sucata Interna; Metal = Metal !

Onde:

X = teor do metal no minério "in situ": 1 X !

Le = as perdas do metal resultantes da etapa de extração: 0,3625 X !

**Pe =é o produto, em metal, resultante da etapa de extração: 0,6375 X !**

Lp =as perdas do metal resultantes da etapa de processamento: 0,06375 X!

Pp =é o produto, em metal, resultante da etapa de processamento: **0,57375 X!**

**Lf =as perdas do metal resultantes da etapa de fabricação: 0 X !**

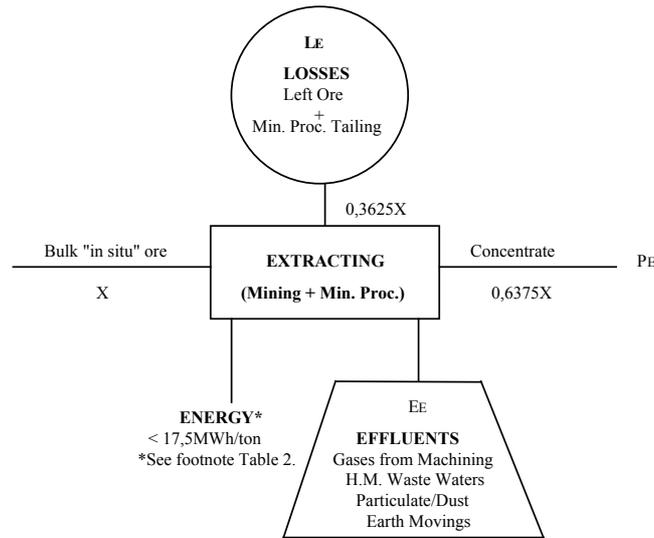
Pf = é o produto, em metal, resultante da etapa de fabricação: Pp !

Lm=as perdas do metal resultantes da etapa de manufatura: 0,11475 X !

Pm =é o produto,em metal contido,resultante da etapa de manufatura: 0,459X

Ei= é o efluente gerado em cada uma das etapas de produção,mostrado nas figuras a seguir !

### 2.3. Identificando os impactos ambientais da etapa de extração



**Figura 2 – Entradas e saídas da etapa de extração**

Onde: Losses = Perdas; Left Ore + Min.Proc.Tailings = minério deixado+ rejeitos de beneficiamento; Bulk "in situ"ore = minério massivo "in situ"; Concentrate = concentrado;Extracting (Mining + Min.Proc) = Extração (Lavra + Beneficiamento); Energy = Energia; see footnote Table 2 = veja rodapé Tabela 2; Effluents = Efluentes; gases from Machining + gases das máquinas; H.M. Waste Waters = M.P. águas perdidas; particulate = particulado; dust=poeira; earth moving = movimentação de terra;

A – Energia: Podem-se visualizar as possibilidades de melhoras técnicas quanto à energia utilizada nesta etapa. Os dados estão em kWh (térmico), por tonelada de metal primário (veja a referencia 16), onde:

Al= 10.175 kWh (térmico)/tonelada.

Cu= 17.420 kWh (térmico)/tonelada.

Zn= 1.420 kWh (térmico)/tonelada.

B – Perdas: Minério deixado "in situ", o qual é função direta do método de lavra e do teor de corte selecionado; há possibilidade de melhoras !

Rejeitos do Beneficiamento, o qual é função da tecnologia empregada na etapa de processamento, pois os teores comerciais são insumos para tecnologias conhecidas; há possibilidades de melhoras !

C – Efluentes: Na lavra, impactos originados das operações de acesso e movimentação de rochas e terra em geral; há possibilidades de melhoras em função do estabelecimento de medidas legais ou voluntárias que tenham em conta os custos de recuperação e as pressões sociais.

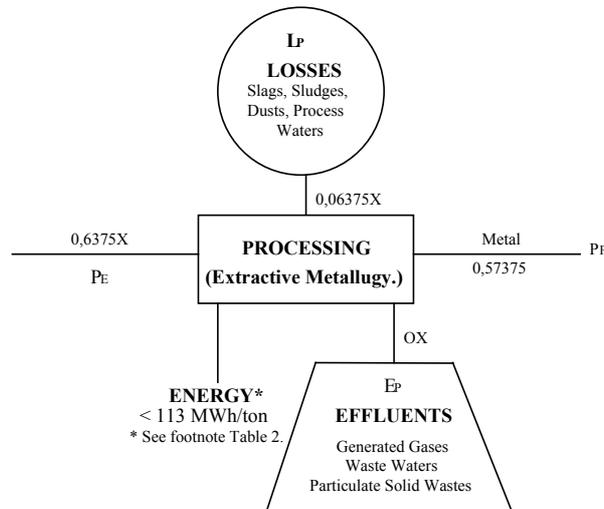
Na lavra, gases das maquinas e equipamentos, barulhos e vibrações; há possibilidades de melhoras.

Ainda na lavra, ruptura do lençol freático e outros regimes hidráulicos existentes; há poucas possibilidades de melhoras com os métodos de mineração empregados hoje em dia.

No beneficiamento de minérios, as águas de processo e poeiras, bem como disposição de rejeitos e controle de geração de ácidos e outros efluentes.

#### 2.4. Identificação dos Impactos Ambientais originados da Etapa de Processamento

Com referencia à Figura 3, a seguir.



**Figura 3 – Entradas/Saídas da Etapa de Processamento**

Onde: Losses = Perdas; Slags = escórias; Sludges = lamas; dust=poeira; process water = agua de processo; Processing = Processamento; Extractive Metallurgy = metalurgia Extrativa; Energy = Energia; see footnote Table 2 + veja rodapé Tabela 2; Effluents = Efluentes; generated gases = gases gerados; waste waters = aguas usadas; particulate solid wastes = rejeitos solidos particulados.

A - Energia: no uso de energia, há possibilidades de melhora de desempenho; os dados são em kWh(térmico)/tonelada, originados da referencia 16.

Al: 35.384 kWh(térmico)/tonelada;

Cu: 26.520 kWh(térmico)/tonelada;

Zn: 17.560 kWh(térmico)/tonelada;

Mg: 103.000 kWh(térmico)/tonelada;

B. - Perdas: As massas perdidas nesta etapa são função da tecnologia de processo utilizada, habilidades disponíveis e legislação. Há possibilidades de melhoras, especialmente nas áreas de recuperação de metais de escórias, poeiras e outras massas descartadas ou desenvolvimento de novos processos tecnológicos baseados nos decréscimos das operações envolvidas e/ou equipamentos mais eficientes.

C. - Efluentes: gases de processamento, tais como COx, NOx, SOx, além das águas de serventia após eventual remoção de metais pesados destas águas de processamento. Emissão de particulados, ao longo do processo, além de rejeitos sólidos, outros que escórias, lamas etc... Há possibilidades de melhoras.

## 2.5. Identificação dos Impactos Ambientais originados na Etapa de Fabricação

Analisando-se a Figura 4, que mostra as entradas/saídas da etapa de fabricação, a seguir mostrada.

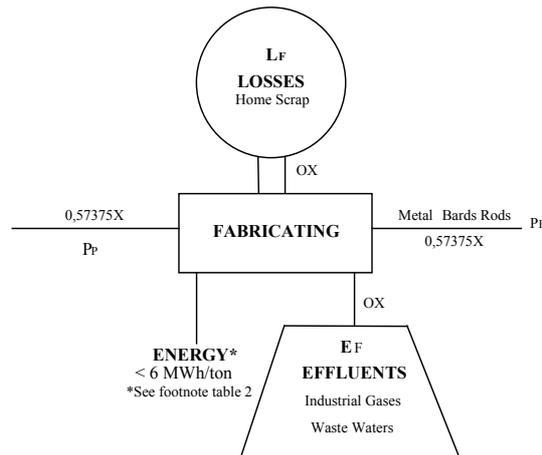


Figura 4 – Entradas/Saídas da Etapa de Fabricação

Onde: Losses = já sabe; Home Scrap= Sucata Interna; Fabricating = fabricação; metal bars rods = barras e vergalhões metálicos; Energy = ;

See footnote...;Effluents =...; industrial gases = gases industriais; waste waters = águas de processo;

A. – Energia: utilização de energia, tal como mostrada pelos números a seguir, obtidos da referencia 16:

Al: 4.937 kWh(térmico)/tonelada;

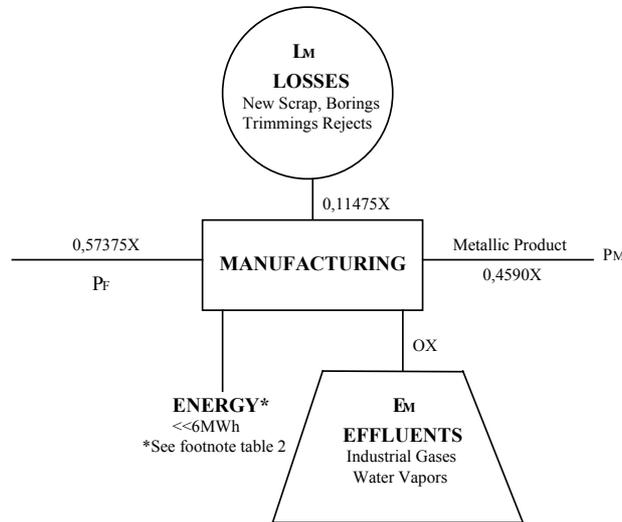
Cu: 5.970 kWh(térmico)/tonelada;

Zn: 1.492 kWh(térmico)tonelada;

B. – Perdas: geração da denominada "home scrap", onde não há perdas, pois o reciclo é contínuo e constante. Entretanto, há possibilidades de melhoras, ou sejam, decrescimos, das massas geradas como perdas, com a utilização de operações e/ou equipamentos mais eficazes.

## 2.6. Impactos Ambientais Identificados oriundos da Etapa de Manufatura

Observando a Figura 5, a seguir mostrada.



**Figura 5 – Entradas/Saídas da Etapa de Manufatura**

Onde: New Scrap = Sucata Nova; manufacturing = manufatura; metallic product = produto metalico; borings trimming rejects = aparas metálicas

A – Energia: bastante variável dependendo do particular produto metálico obtido através de forja, estamparia, usinagem, etc.. Entretanto, bem menos do que qualquer das etapas de produção anteriores.

B - Perdas: são as denominadas "sucatas novas", as quais são recicladas na produção secundária do metal em questão.

C. Efluentes: gases industriais e vapor d'água.

### **3. O PAPEL DO ENGENHEIRO MINERAL**

Para que se tenha um apanhado geral do papel do profissional de operação e pesquisa imbuído do escopo do desenvolvimento sustentável no seu dia a dia operacional, favor lêr Conard(17), onde a drenagem ácida, a remoção dos metais dos efluentes industriais, gerenciamento do arsênico, redução de poluentes gasosos e conservação da energia, destruição de cianetos, processamento dos rejeitos e reciclagem são matérias analisadas e discutidas, através de exemplos selecionados de técnicas hidrometalúrgicas, para um meio ambiente saudável.

Para os interessados em novas técnicas e assuntos de pesquisa em hidrometalurgia e processamento aquoso de materiais e minerais industriais, as revisões de Doyle e Duyvesteyn são indicadas, bem como aquela periodicamente publicadas pelo JOM, como revisões de extração e processamento.

Santa Cruz de la Sierra, Bolívia,  
JORNADAS IBEROAMERICANAS SOBRE TECNOLOGIAS LIMPIAS,  
12 – 16 JUNIO,2006.

AECI/CYTED/ALFA/OLAMI

# **Capítulo 1**

**Uma Apresentação de Caso: Tecnologias  
Limpas para o Cobre  
Una Presentacion de Caso: Tecnologias  
Límpias para el Cobre**

---

## **IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS PARA LA INDUSTRIA DEL COBRE**

*Mario Sánchez*  
Departamento de Ing. Metalúrgica,  
Universidad de Concepción  
Edmundo Larenas 285, Concepción, Chile

---

### **1. INTRODUCCIÓN**

Las Tecnologías Limpias es un concepto que viene desarrollándose fuertemente en el mundo de hoy como una respuesta necesaria al desarrollo industrial y su impacto sobre la naturaleza. El fenómeno de globalización por la que atraviesa el mundo actual ha contribuido también a fijar este concepto, ya que podemos darnos cuenta con más facilidad de los límites de nuestro universo y cuan fácil es contaminarlo con efectos permanentes. Nace entonces la percepción social de que el desarrollo debe seguir un curso sustentable so riesgo de perecer en los intentos de crecimiento.

La transformación de la naturaleza por parte del ser humano es tan antigua como éste. No se entendería de otra manera todos los beneficios en los nuevos productos y tecnologías que hoy tenemos para satisfacer nuestra vida diaria. Basta que miremos a nuestro alrededor para darnos cuenta de la cantidad de cosas fabricadas por nuestra especie que facilitan nuestro pasar cotidiano.

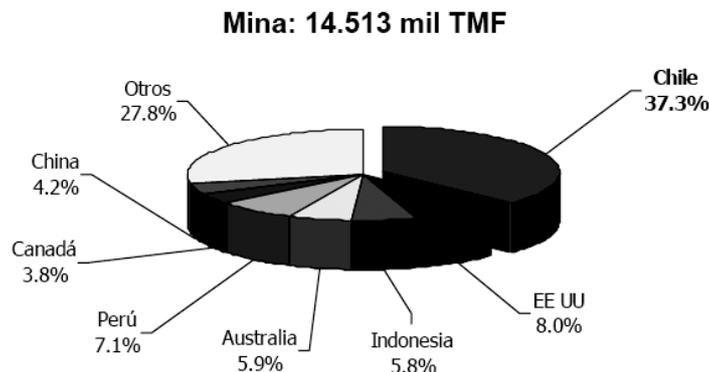
El límite para el desarrollo ya no es hoy por hoy la capacidad de transformar la naturaleza, sino más bien cautelar que la transformación ocurra con un mínimo de efectos ambientales. Esto ha dado origen al nacimiento de nuevas áreas de desarrollo científico cuyo objetivo es establecer nuevas disciplinas de ordenamiento que hagan sustentable los procesos industriales, procesos necesarios para seguir creciendo.

Cabe destacar que el objetivo fundamental de estas nuevas áreas de desarrollo sigue siendo la satisfacción social de nuestra especie. Por ende la concepción de Tecnologías Limpias no sólo dice relación con la innovación y el desarrollo de procesos menos contaminantes, sino también con el bienestar de las comunidades, particularmente las que habitan en terrenos aledaños a las plantas industriales.

### **2. La Industria Minera y el caso particular del cobre.-**

La industria minera es determinante para el mundo actual. No podemos prescindir de los metales para el desarrollo de nuestra sociedad y el caso del cobre no escapa a esta situación.

Chile es hoy un importante productor de cobre en el mundo, tal como lo indica el diagrama de la Figura 1 que se muestra a continuación, donde se compara su producción con otros países del mundo.



ISGS. Copper Bulletin marzo 2005.

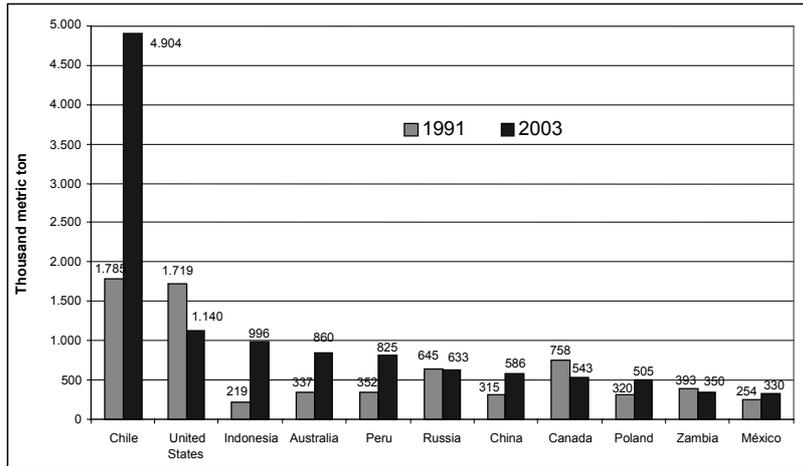
### Figura 1 - Producción porcentual de cobre mundial.

Los datos muestran que al año 2004, Chile es el primer productor de cobre de mina del mundo, con una producción de 5,4 millones de TMF de cobre y, con una participación de más de un tercio del mercado.

Al año 2010, se estima que la producción de cobre alcanzará 6,7 millones de TMF. Parte fundamental de este incremento ha sido la inversión del sector privado, cuya producción pasó de un 16% en 1990 a un 66% del total de cobre fino producido el 2003.

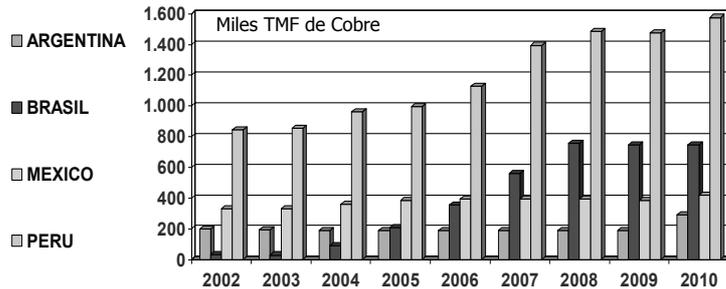
El gráfico de la Figura 2 que se muestra a continuación indica la evolución de la producción minera de cobre en varios países del mundo desde al año 1991 hasta el año 2003, en que notoriamente se explicita el salto dado por Chile en la producción primaria de este metal. Ello también permite prever el gran impacto ambiental que esta industria tiene en su entorno, lo que es muy relevante para un país con una superficie relativamente pequeña comparada con otros colosos productores como Estados Unidos, Australia, Rusia, China o Canadá.

También este gráfico permite apreciar la declinación de producción en países como Estados Unidos, Rusia y Canadá, en lo que indudablemente ha influido parámetros como el agotamiento de recursos, los aumentos de costos de mano de obra y las normativas ambientales cada vez más estrictas.



**Figura 2 - Cambios de producción de cobre a nivel mundial (1991-2003)**

Se estima que al año 2010, América Latina contribuirá con cerca del 57% de la producción total mundial de cobre, lo que muestra la importancia de esta región en esta actividad minera y por ende su importancia futura en esta área de la economía. Si bien Chile es el principal productor, hay economías muy emergentes asociadas a este sector como son los casos de Perú y Brasil. En la figura 3 siguiente se muestra la producción de cobre de otros países emergentes como Argentina, Brasil, México y Perú y su contribución al incremento esperado durante esta década. De esta manera, la región Latino Americana pasa a tener una importancia fundamental en la comercialización y por de pronto en la fijación de precios de este metal.

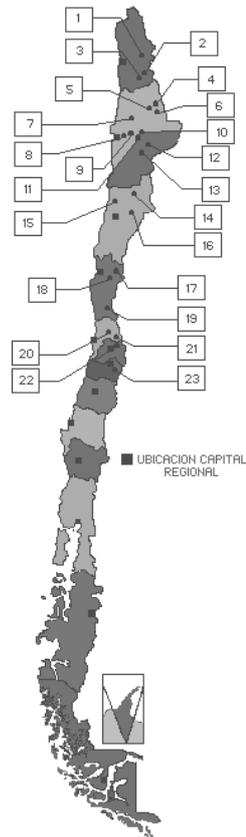


**Figura 3 - Países productores de cobre en la región latinoamericana (excluyendo Chile)**

En Chile, la minería da empleo directo a alrededor de 100 mil trabajadores, lo que representa sólo un 1,5% de la fuerza de trabajo nacional. Respecto de los empleos indirectos, se estima que la relación es de tres a uno respecto a los empleos directos.

Además, la minería ha tenido un importante impacto en la materialización de inversiones en infraestructura vial, portuaria, eléctrica y aeródromos en las regiones de localización de las faenas mineras.

Los principales recursos mineros en Chile se muestran someramente en la figura 4. El detalle de producción para cada uno de estos recursos se indican en la Tabla I siguiente.



**Figura 4 - Principales recursos mineros (ver Tabla I)**

**Tabla I - Producción de los principales recursos de cobre en Chile  
(año 2002)**

Cerro Colorado (1): (inicio: 1994)	100 Km. al este de la ciudad de Iquique y a una altura de 2.600 m sobre el nivel del mar. 128.000 TMCu.
Quebrada Blanca (2): (inicio: 1994)	A 170 Km. al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.400 m sobre el nivel del mar. 74.000 TMCu.
Collahuasi (3): (inicio: 1998)	A 175 Km. al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.500 m sobre el nivel del mar. 434.000 TMCu.
El Abra (4): (inicio: 1996)	A 39 Km. al norte de la ciudad de Calama y a una altura de 4.000 m sobre el nivel del mar. 225.000 TMCu.
Radomiro Tomic (5): (inicio: 1998)	A 8 Km. al norte del yacimiento de Chuquicamata y a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 297.000 TMCu.
Chuquicamata (6): (inicio: 1915)	A 240 Km. de la ciudad de Antofagasta y a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 597.000 TMCu. Es el rajo más grande del mundo.
Michilla-Lince (7): (inicio: 1992)	A 70 Km. al sur de la ciudad de Tocopilla. 52.000 TMCu.
Mantos Blancos (8): (inicio: 1961)	A 45 Km. al noroeste de la ciudad de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.000 m sobre el nivel del mar. 96.000 TMCu.
Lomas Bayas (9): (inicio: 1998)	A 110 Km. al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.500 m sobre el nivel del mar. 59.000 TMCu.
Spence (10): (inicio: 2006)	A 140 Km. al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.700 m sobre el nivel del mar. Contempla producción anual de 200.000 TMCu.
El Tesoro (11): (inicio: 2001)	A 140 Km. al noroeste de Antofagasta en el distrito de Sierra Gorda, a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 84.000 TMCu.
Escondida (12): (inicio: 1991)	A 160 Km. al sudeste de Antofagasta, a una altura de 3.100 msnm. 758.000 TMCu. Es la mina con mayor producción en el mundo
Zaldívar (13): (inicio: 1995)	A 175 Km. al sudeste de Antofagasta. Producción de 148.000 TMCu.
El Salvador (14): (inicio: 1959)	A 120 Km. al este de Chañaral y a una altura de 1.700 m sobre el nivel del mar. Producción de 73.000 TMCu.
Manto Verde (15): (inicio: 1995)	A 40 Km. al interior de Chañaral. Producción de 57.000 TMCu.
La Candelaria (16): (inicio: 1994)	A 20 Km. al noreste de Copiapó. Producción de 199.000 TMCu.
El Indio (17): (inicio: 1982)	Yacimiento de oro con cobre como subproducto. A unos 100 Km. al noreste de Vicuña y a una altura de 4.000 msnm. Cerrado el año 2002.
Andacollo (18): (inicio: 1996)	A unos 40 Km. al sudeste de Coquimbo, a una altura de 1.050 m sobre el nivel del mar. Producción de 22.000 TMCu.
Los Pelambres (19): (inicio: 1999)	A 79 Km. al este de Salamanca, a una altura de 3.000 a 3.6000 m sobre el nivel del mar. Producción de 336.000 TMCu.
El Soldado (20): (inicio: 1942)	A 130 Km. al norte de Santiago, en la Comuna de Nogales. Producción de 69.000 TMCu.

**Tabla I (cont.)- Producción de los principales recursos de cobre en Chile (año 2002)**

Andina(21): (inicio:1970)	A 50 Km. al noreste de Santiago, en el distrito de Saladillo, cercano a la ciudad de Los Andes, a una altura de 3.500 msnm. 219.000 TMCu.
Los Bronces (22): (inicio: 1925)	A 50 Km. de Santiago, a una altura de 3.500 m sobre el nivel del mar. 181.000 TMCu.
El Teniente (23): (inicio: 1906)	A 80 Km. al sur de Santiago, y al Este de la ciudad de Rancagua. 334.000 TMCu. Es la mina en explotación subterránea más grande del mundo.

Un resumen de la producción de cobre en Chile hasta el año 2004 se muestra en la Tabla II siguiente. Notar que la producción de CODELCO (Corporación del Cobre, empresas del Estado de Chile) es cercana a un tercio de la producción total del país.

También es importante acotar que la principal empresa productora hoy es Minera Escondida, cuyos capitales son privados.

**Tabla II - Producción de las principales empresas productoras de cobre en Chile**

<b>Producción de Cobre en Chile/Chilean Copper Production</b>											
Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Codeco- Chile</b>	<b>1.134</b>	<b>1.160</b>	<b>1.221</b>	<b>1.231</b>	<b>1.403</b>	<b>1.512</b>	<b>1.516</b>	<b>1.592</b>	<b>1.520</b>	<b>1.563</b>	<b>1.733</b>
División Norte	606	610	632	650	650	630	630	642	597	907	983
División El Teniente	309	323	345	343	339	346	356	356	334	339	436
División Andina	136	141	154	145	164	249	258	253	219	236	240
División Salvador	83	86	90	88	88	92	81	81	73	80	75
<b>Sector Privado</b>	<b>1.086</b>	<b>1.328</b>	<b>1.895</b>	<b>2.213</b>	<b>2.374</b>	<b>2.868</b>	<b>3.087</b>	<b>3.147</b>	<b>3.060</b>	<b>3.346</b>	<b>3.684</b>
Andacollo	-	-	1	20	21	21	21	21	22	24	22
Candelaria	30	151	141	162	222	227	204	221	199	209	219
Cerro Colorado	25	36	60	60	75	100	119	134	134	137	124
Collahuasi	-	-	-	-	48	435	436	453	434	353	442
El Abra	-	-	51	194	199	220	197	218	235	225	217
El Indio	33	33	35	32	28	15	14	11	0	0	0
El Soldado	65	70	68	68	64	65	66	64	69	70	70
El Tesoro	-	-	-	-	-	-	-	44	84	93	99
Enami	119	126	128	97	83	71	89	95	90	164	212
Escondida	481	467	841	933	868	959	917	794	758	870	986
Iván/Zar	3	9	10	10	9	10	13	14	9	7	11
Lomas Bayas	-	-	-	-	19	45	51	56	54	63	58
Los Bronces	123	128	134	141	153	183	170	171	181		208
Los Pelambres	24	22	22	22	7	12	309	374	340	326	352
Manto Verde	-	1	41	48	48	52	54	56	57		60
Mantos Blancos	77	74	82	85	118	128	101	102	96		87
Michilla	50	56	63	62	61	61	53	50	52		50
Quebrada Blanca	-	46	68	67	72	73	68	74	74	82	80
Zaldívar	-	22	78	96	131	150	148	140	148	150	152
Otros	73	118	95	99	130	49	104	101	198	0	35
<b>Total</b>	<b>2220</b>	<b>2488</b>	<b>3116</b>	<b>3444</b>	<b>3777</b>	<b>4438</b>	<b>4603</b>	<b>4739</b>	<b>4580</b>	<b>4909</b>	<b>5.419</b>

En minería, las alteraciones ambientales más importantes ocurren en las etapas de extracción y procesamiento para obtener el metal. Las etapas de producción metal-mecánicas para la obtención de productos específicos son notoriamente menos impactantes. En el primer caso se está pasando de las concentraciones del metal normales de un mineral a valores ya cercanos al metal puro. La segunda etapa se caracteriza por eliminar contenidos menores de impurezas y más bien afinar el metal para usos específicos en el mercado.

Para tener una idea clara del efecto ambiental de la minería del cobre, no sólo en Chile sino también en el mundo, baste señalar que un recurso aceptable de este mineral tiene en promedio un 1% de cobre, lo que significa que hay que disponer alrededor del 99% del material que no será utilizado y que pasará a constituir un desecho.

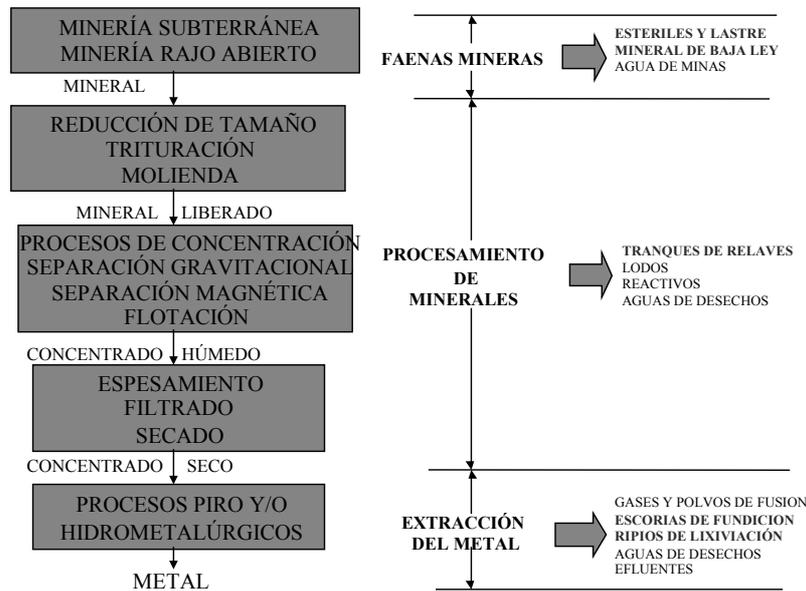
La figura 5 siguiente, donde se muestran los efectos de la producción minera desde la cuna a la tumba, indica también los impactos en cada una de sus etapas. Las etapas específicas desde la extracción en la mina hasta obtener el metal se indican en el flowsheet de la izquierda. En la parte central se indica la denotación utilizada en el lenguaje minero-metalúrgico para cada una de las etapas o agrupaciones de etapas. A la derecha se indican los efluentes generados y en particular en rojo se denotan aquellos efectos más notables por los volúmenes generados y que en su gran mayoría pasan a constituir los llamados "pasivos mineros". Estos pasivos mineros permanecerán por lo general junto a las plantas mineras provocando alteraciones no sólo visual sino también química por la generación continua de efluentes ácidos capaces de disolver metales pesados y contaminar aguas abajo los recursos hídricos.

Podemos hacer notar, durante las faenas mineras, los estériles y lastre, así como también los minerales de baja ley que constituyen un costo importante de transporte y disposición en lugares aledaños a las plantas. Durante las etapas de procesamiento propiamente tal aparecen los grandes tranques de relaves, como subproductos de las etapas de flotación del mineral, y en las etapas de extracción del metal, en que ocurren procesos piro, hidro y electrometalúrgicos, los grandes desechos de escorias y rípios de lixiviación.

Algunos de estos desechos son más contaminantes que otros, notándose una gran estabilidad en algunos como las escorias de fundiciones y gran generación de contaminantes por el medio húmedo en que transcurren otros como las colas (relaves) de flotación y rípios de lixiviación.

Hoy existe la tendencia a reutilizar muchos de estos pasivos mineros, en beneficio de minimizar su impacto ambiental y particularmente considerando que muchos de ellos tienen un valor asociado a sus componentes. Más aún, en la época que vivimos se ha quebrado radicalmente el paradigma de antaño que operaciones ferrosas no se

mezclaban con las no ferrosas (aludiendo que el hierro es nocivo para el cobre y que el cobre es nocivo para el hierro). Sin embargo las tecnologías actuales permiten hacer operaciones transversales entre estas industrias antes muy diferenciadas.



**Figura 5 - Impacto ambiental de las diferentes etapas minero-metalúrgicas durante la producción del metal. Esquema "de la cuna a la tumba"**

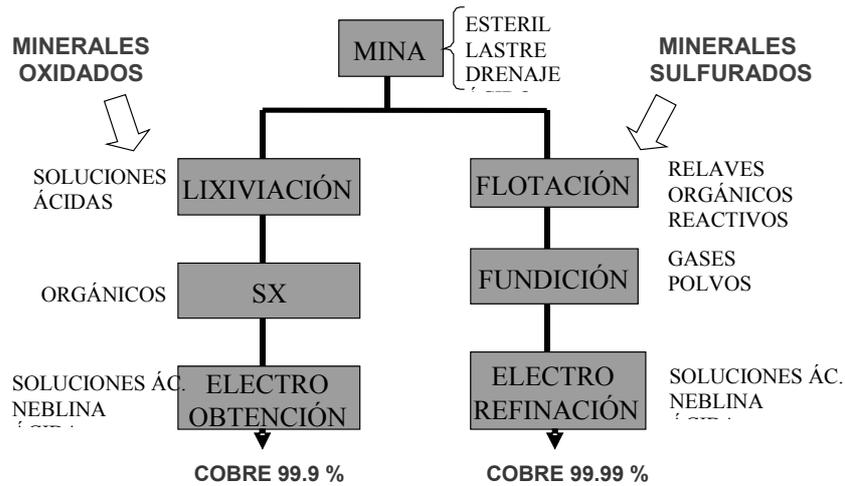
En el caso del cobre, existen corrientemente dos alternativas de minerales a explotar: los oxidados y los sulfurados. Los primeros se encuentran muy cerca de la superficie de la corteza de la tierra ya que han tenido la oportunidad de una continua e íntima interacción con el oxígeno del aire durante su existencia. Los segundos, ubicados más en profundidad, difícilmente han tenido esta posibilidad, por lo cual se encuentran por lo general muy inalterados del punto de vista de su oxidación.

Los minerales oxidados son muy sensibles al tratamiento ácido por vía acuosa, y sus componentes por lo general son fácilmente solubles en ambiente ácido a temperatura ambiente, por lo cual el tratamiento normal será de carácter hidrometalúrgico. Los minerales sulfurados son bastante más estables termodinámicamente, por lo que la única forma de desestabilizar sus componentes es elevando la temperatura y en este caso el procedimiento de extracción será de carácter pirometalúrgico.

La figura 6 a continuación muestra ambas alternativas y el efecto ambiental en cada uno de sus etapas. Las faenas mineras previas y comunes a ambas alternativas, tiene su propio impacto ambiental.

Notar que un aspecto importante a considerar en el impacto ambiental es la generación de drenaje ácido de mina (faenas subterráneas o a rajo abierto) que puede causar problemas graves en aquellos lugares donde se combinan la disponibilidad de sulfuros (del mineral base o residuales), oxígeno (del aire) y agua (humedad del ambiente o efluentes líquidos). Este drenaje es capaz de disolver metales pesados que pueden ser causantes de problemas de salud en la población circundante.

#### ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES DE COBRE Y PRINCIPALES EFLUENTES CONTAMINANTES



**Figura 6 - Alternativas de tratamiento de minerales oxidados y sulfurados de cobre y su impacto ambiental**

En un estudio realizado en el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción el año 1998, se obtuvo los resultados que se muestran en la figura 7 siguiente, respecto al impacto ambiental de la producción minera de cobre durante ese año en Chile.

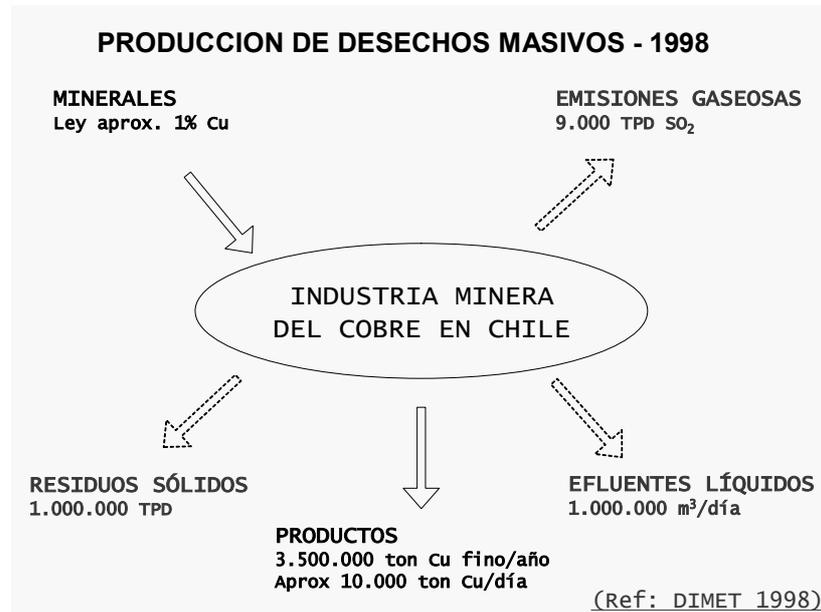
La producción de cobre fino en aquella ocasión alcanzó los 3 millones y medio de toneladas. Para ello fue necesario emitir 9.000 Ton/día de anhídrido sulfuroso, un millón de metros cúbicos de líquidos efluentes

por día y un millón de toneladas de residuos sólidos por día, tal como se muestra en la figura.

Este mismo estudio permitió establecer una clasificación de los efluentes mineros y su tratamiento, en el caso de Chile, desde la cuna a la tumba, el cual se muestra en la Tabla III.

Notar que en general no hay tecnologías acabadas de tratamiento, lo que no escapa a la media mundial, y el destino final, en la gran mayoría de los casos, es un confinamiento en sitios de disposición como por ejemplo tranques de relaves u otros. Como tecnología de tratamiento, es corriente encontrar la precipitación previa a la disposición.

La gran mayoría de los contaminantes son las aguas ácidas, los metales pesados, sulfatos y molibdatos. Un contaminante particular a destacar es el arsénico, muy corriente en nuestra industria del cobre y en cuya neutralización hoy se emplea la estabilización como arsenatos de hierro, particularmente la escorodita.



**Figura 7 - Impacto ambiental de la producción de cobre en Chile.  
Año 1998**

**Tabla III - Contaminantes, Tecnologías de tratamiento y destino final. Industria del cobre**

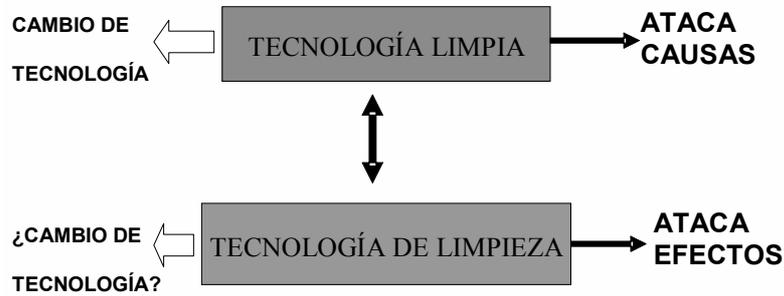
EFLUENTE	CONTAMINANTE	TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	PRODUCTO DEL TRATAMIENTO	DESTINO FINAL	CONFINAMIENTO
Gas de fundición	SO <sub>2</sub> gaseoso	Planta de ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Procesos hidrometalúrgicos	-
	Compuestos volátiles de arsénico y otros residuos de arsénico	Precipitación electrostática	Oxidos y sulfuros de As	Lixiviación precipitada de arsenito de hierro Lixiviación precipitada de arsenito de calcio	Tanque de rebose o pilonas profundas
Residuos de flotación	Sulfatos, molibdenatos, arseniuros, organocobres Sólidos en suspensión	Descarga en el tanque de rebose	Sólidos y agua clara del tanque de rebose	Agua clara reciclada	Tanque de rebose
Aguas ácidas	H <sup>+</sup> / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / MOO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ácidos orgánicos, etc.	Neutralización, precipitación redoxante, Adsorción, etc.	Precipitados y residuos sólidos	Secado solar Separación sólido/líquido	Sitio de disposición Tanque de rebose
Aguas de drenaje de minas	H <sup>+</sup> / Fe <sup>2+</sup> / Fe <sup>3+</sup> / Cu <sup>2+</sup> otros metales pesados	Neutralización con cal	Precipitados de hierro	Secado solar	Sitio de disposición
		Neutralización con hierro	Cemento de cobre	Venta	-
		Flocculación Plantas S/C-BW	Precipitados Cánchales de cobre	Secado solar Venta	Sitio de disposición -
Esfluido de minas	Polo y otros residuos sólidos	Disponibles	-	-	Sitio de disposición
Mineral de baja ley	Metales pesados y ácido (potencia)	Disponibles	-	Polevo (recursos metalúrgico)	Sitio de disposición
Escorias de fundición	Residuos sólidos	Disponibles	-	Polevo (recursos metalúrgico)	Sitio de disposición
Residuos sólidos de lixiviación	H <sup>+</sup> , metales pesados, polo y residuos sólidos	Disponibles	-	Polevo (recursos metalúrgico)	Sitio de disposición

#### 4. EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA MINERA

Conviene reflexionar en este punto sobre el concepto de Tecnología Limpia. Por esta técnica se entiende a la que va dirigida a atacar las causas del problema ambiental y no a las consecuencias, como se muestra esquemáticamente en la figura 8 siguiente.

En efecto, en la gran mayoría de los casos, la solución a los problemas de la contaminación en la Industria minera y también en otras industrias, se reduce a realizar un tratamiento de los efluentes al final del proceso. Es la conocida técnica de "fin de tubo" (end of pipe treatment) que no contribuye a solucionar el problema en su raíz.

**TECNOLOGÍA LIMPIA vs TECNOLOGÍA DE LIMPIEZA**



**Figura 8 - Diferencia conceptual entre Tecnología Limpia y Tecnología de limpieza**

La aplicación de una Tecnología Limpia sigue una pauta de prioridades, tal como se muestra en la Tabla IV, siendo la de mayor relevancia la reducción en las fuentes, ya que ataca el problema en su raíz. Sin embargo es ésta alternativa la que demanda también mayor tiempo y dinero y es la razón porque en la gran mayoría de los casos se opta por la últimas y menos prioritarias (tratamiento y disposición).

La primera alternativa, demanda mayores recursos ya que para solucionar el problema se desarrollan cambios drásticos en el proceso, tales como cambios de tecnología o modificaciones profundas. Ello significa indudablemente desarrollar un trabajo de investigación fundamental y aplicado, de largo plazo, escalando consecutivamente desde las etapas de laboratorio a plantas pilotos y más tarde industriales, e involucrando grupos de investigadores en su desarrollo. Es la alternativa que han empleado países más desarrollados, que disponen de mayores recursos y por ende son capaces de correr también los riesgos de invertir en investigación que no siempre conduce a los resultados esperados.

La última opción, muy utilizada en los países más pobres, significa involucrar menos recursos, pero también mantener un problema no resuelto y prolongarlo en el tiempo.

Conviene acotar dentro de este esquema, que una alternativa muy válida es el reciclaje, que puede significar solucionar el problema realimentando el propio circuito de producción. También hay que acotar que no siempre ello es posible, ya que en muchos casos puede significar acumular dentro del circuito material contaminante no deseado.

En nuestros países hoy se emplea todavía mucha disposición y poca reducción en las fuentes. Este cambio debiera producirse incentivando la investigación y el desarrollo tecnológico, allegando mayores recursos a estas actividades. Sin embargo estos recursos no siempre están disponibles o no están dentro de las políticas de desarrollo de los gobiernos.

**Tabla IV - Gestiones con más y menos prioridad para el impacto ambiental en la industria minera**

ALTA PRIORIDAD ↑ ↓ BAJA PRIORIDAD	GESTIÓN	ACTIVIDADES	APLICACIONES
	REDUCCIÓN EN FUENTES	-MODIFICACIONES AL PROCESO -CAMBIOS TECNOLÓGICOS -CAMBIOS ALIMENTACIÓN -CAMBIOS EN PRODUCTO -MEJORA PROCEDIMIENTOS	-MODIFICACIONES EQUIPO / -AUMENTO EFICIENCIA USO DE ENERGÍA / -AUMENTO MINERÍA IN -USO MAT. NO
	RECICLAJE	-REUTILIZACIÓN -RECICLAJE EN CIRCUITO CERRADO	-RECICLAJE -REPROCESAMIENTO COLA -RECUPERACIÓN
	TRATAMIENTO	-ESTABILIZACIÓN -NEUTRALIZACIÓN -PRECIPITACIÓN -EVAPORACIÓN -INCINERACIÓN	-DESTRUCCIÓN DE -TRATAMIENTO AGUAS DESECHO
	DISPOSICIÓN	-DISPOSICIÓN EN SITIOS PERMITIDOS	-DISPOSICIÓN RELAVE

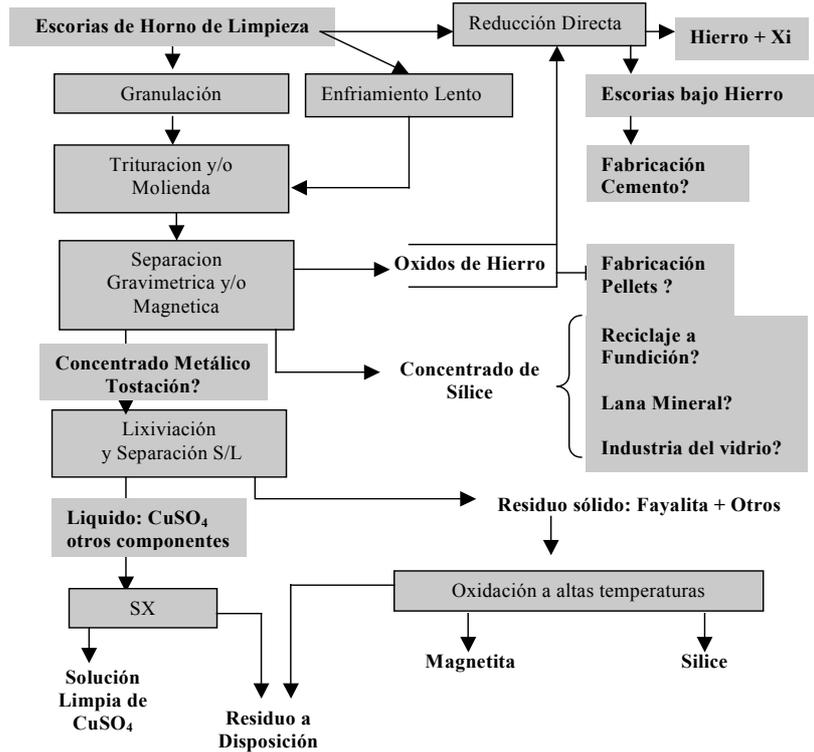
##### 5. UN NUEVO PARADIGMA: LOS RESIDUOS COMO RECURSOS

El incremento en las normativas ambientales en beneficio de mantener un ambiente limpio para las generaciones actuales y futuras ha facilitado un importante cambio de paradigma en el mundo minero de hoy, cual es considerar los residuos mineros como nuevas fuentes de recursos. De hecho, en el caso de la industria del cobre, el criterio aplicado para eliminar los desechos es que su contenido en el metal no sea superior a la ley de la cabeza (esto es, valores cercanos a 1%). Sin embargo un desecho

con ese contenido del metal es de por sí un nuevo recurso de cobre. Adicionalmente, existen otros elementos y compuestos que pueden contribuir aun más a dar un valor a estos desechos.

Estos nuevos recursos tienen varias ventajas. Se encuentran dispuestos ya en superficie y por de pronto no hay faenas mineras y geológicas necesarias como las hay en el tratamiento corriente de los minerales. Adicionalmente estos residuos se encuentran relativamente caracterizados, lo que minimiza también los costos en su especificación como recurso.

Un caso importante a analizar es el de las escorias de fundiciones de concentrados, donde los materiales contenidos se pueden recuperar a objeto de darle un valor económico (Figura 9).



**Figura 9 - Alternativas de operaciones unitarias para recuperar materiales de escoria pirometalúrgicas**

Un análisis global permite establecer operaciones unitarias corrientes para recuperar estos materiales y generar una suerte de "emisión cero" para el proceso de extracción pirometalúrgica global del cobre.

La Figura 9 muestra esta aproximación, parte de la cual se ha ido desarrollando en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción, con resultados alentadores en la medida que el costo de tratamiento evaluado es auto soportado por la generación de nuevos materiales con valor económico, entre otros, algunos metales nobles, cobre, hierro para la industria siderúrgica y sílice para la industria cerámica.

También dentro de este nuevo paradigma se puede comentar la reutilización que la industria del hierro hace de las colas de flotación de la industria del cobre en Chile, por alta concentración de hierro como magnetita, produciendo pellets para la industria siderúrgica. Esta transversalidad entre industria no ferrosa y ferrosa será más corriente en un futuro cercano, dado los imperativos medio ambientales y la escasez de algunos recursos.

## **6. CONCLUSIONES**

La industria minera y la del cobre en particular producen efectos ambientales muy importantes por la cantidad de material de desecho necesario remover para extraer el metal. A su vez estos materiales de desecho pueden generar efluentes muy contaminantes cuando las condiciones de entorno aseguran la disolución, por ejemplo, de metales pesados.

Hoy existen tecnologías que permiten manejar una buena gestión ambiental en una empresa minera, particularmente si se quiere atacar los problemas en las causas que los generan y no en las consecuencias finales. Sin embargo, dado que atacar los problemas en su raíz requiere inversiones de dinero mayores, las empresas optan por atacar sólo los efectos finales, haciendo por ejemplo una simple neutralización y disposición final de los efluentes.

Un interesante cambio de paradigma en la industria minero-metalúrgica moderna, es la reutilización de materiales de desechos ya sea como reciclaje interno o para la obtención de nuevos productos de uso cotidiano. Esta modalidad tomará fuerza en el futuro con regulaciones medio ambientales cada vez más estrictas. En este mismo contexto, se espera una transversalidad cada vez mayor de actividades y utilización de subproductos entre operaciones mineras en que antiguamente es no era concebible su ocurrencia.

También la industria de reciclaje secundario será determinante en el futuro, para suplir las necesidades que la industria minera primaria no

alcance a cubrir, ya sea por agotamiento de recursos, altos costos de mano de obra o restricciones ambientales asociada a la generación de sus efluentes.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Compendio de la Minería Chilena 2005, ISSN 0716-5153, EDITEC S.A.
- ISGS Copper Bulletin, Marzo, 2005
- World Metal Statistics, Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO.
- Effluent treatment in the Mining Industry (S. Castro, F. Vergara, M. Sánchez, Eds.) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 389 pages, 1998 (English, ISBN 956-227-156-0).
- Environment & Innovation in Mining and Mineral Technology, Vol. I, Proceedings of the IV International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 13-15 May, 1998, (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds.) University of Concepción, Department of Metallurgical Eng., 39 papers, 487 pages, 1998 (English, ISBN 956-227 158-7).
- Environment & Innovation in Mining and Mineral Technology, Vol. II. Proceedings of the IV International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 13-15 May, 1998, (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds.) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 45 papers, 529 pages, 1998 (English, ISBN 956-227 159-5).
- Waste treatment and environmental impact in the mining industry. Proceedings of the V International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 9-13 May, 2000 (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro,Eds) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 47papers, 472 pages, 2000 (ISBN 956-227-2303).
- Environmental improvements in mineral processing and Extractive Metallurgy. Proceedings of the V International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 9-13 May, 2000 (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 46 papers, 488 pages, 2000 (English, ISBN 956-227-231-1).
- Environmental Issues in the Mining and Metallurgical Industry, Authors: A. Valenzuela, M. Sanchez, E. Vircikova), University of Concepción, Dirección de Docencia, Proyecto Docencia 97-054, 2004, 166 pages (English, ISBN 956-8029-58-3).

## **Capítulo 2**

**Gestão Ambiental e Produção Limpa  
Gestión Ambiental y Producción Limpia**

---

## **GESTÃO AMBIENTAL SUBTERRÂNEA**

*Vidal Félix Navarro Torres*  
IST – Universidade Técnica de Lisboa

---

### **RESUMO**

O presente trabalho aborda a gestão ambiental subterrânea enquadrada no conceito do ambiente subterrâneo como sistema dinâmico de interação mútua e integral de quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e componente biológico (homem); a os quais associa a tecnologia, a economia e sistemas de gestão ambiental subterrânea. O conteúdo é parte do livro titulado "Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações" (Navarro Torres, V. e Dinis da Gama, C., 2005), incluindo apenas alguns resultados.

### **1. INTRODUÇÃO**

Nos últimos vinte anos e cada vez com maior intensidade, existe uma justificada preocupação sobre o antagonismo economia-ecologia e sobre a qualidade ambiental na Terra. Esta preocupação está permitindo desenvolver políticas que conduzam a uma sociedade ambientalmente sustentável.

Os factores ambientais susceptíveis de serem modificados pelo homem ocasionam problemas ao próprio homem, a flora, a fauna, o solo, a água, o ar, o clima, a paisagem e os bens do património cultural.

Muitas actividades industriais, como a mineração, desenvolvem trabalhos no ambiente subterrâneo, cuja duração pode variar de alguns dias a dezenas de anos. O ambiente é alterado e podem ocasionar danos ao homem, através dos gases, poeiras, temperatura, ruído, subsidência e desprendimento de rochas, incêndios, radiação, inundação, águas ácidas, etc. ao ultrapassarem os valores limite admissíveis.

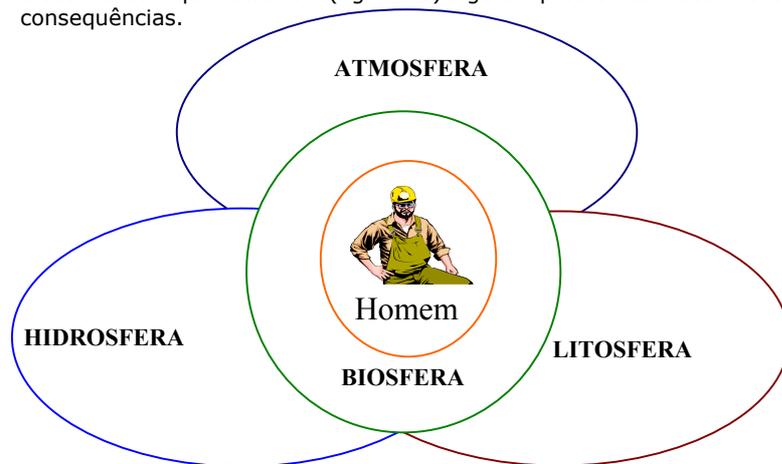
Portanto, as experiências, procedimentos, políticas, gestões, normas, avaliação de impactes e outros importantes avanços do ambiente, são também definitivamente importantes para o ambiente subterrâneo.

### **2. METODOLOGIA DE GESTÃO DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO**

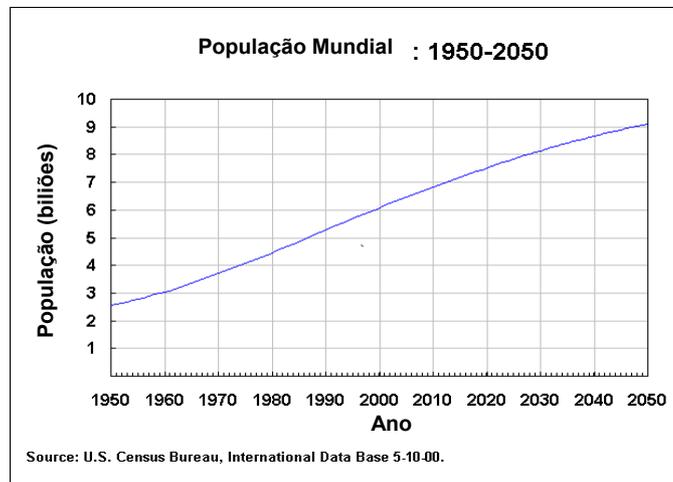
#### **2.1. O homem como parte do ecossistema**

O ambiente envolve uma componente antropocêntrica, que trata das causas e efeitos provocados pelo homem, visando a satisfação das suas necessidades e a consecução das suas mais nobres aspirações. O estado do ambiente depende das influências conjuntas da atmosfera, clima, processos químicos, terrenos e cobertura vegetal, fauna e seres humanos (Dinis da Gama, C., 2000) (fig. 1.a).

O desequilíbrio ambiental provocado pelo homem e pelo seu crescimento quantitativo (fig. 1.b) gera problemas decorrentes e conseqüências.



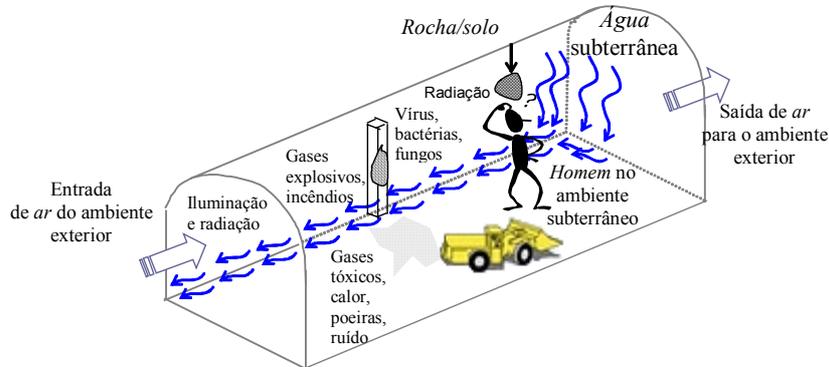
**Figura 1.a – Os principais constituintes do ambiente na Terra (Dinis da Gama, C., 2000)**



**Figura 1.b – Evolução da população mundial ([www.census.gov/ipc/www/world.html](http://www.census.gov/ipc/www/world.html))**

## 2.2. Definição de ambiente subterrâneo

De forma similar ao ambiente exterior, o ambiente subterrâneo, é o meio com componentes ambientais não biológicas (ar, água e rocha) e biológicas (vírus, bactérias, incluído o próprio homem) (fig. 2).



**Figura 2 – Ambiente subterrâneo como parte do ambiente global ou exterior**

De forma similar a o que acontece no ambiente exterior, entre as componentes do ambiente subterrâneo existe uma interacção e relação, assim, qualquer alteração das condições naturais destes componentes causam impactes ambientais podendo pôr em risco a vida humana.

De igual forma o Sistema de Gestão Ambiental Subterrâneo (SGAS) pode-se definir, como o conjunto de acções, de toda a estrutura organizacional da empresa, encaminhadas a prevenir ou minimizar os efeitos não desejados sobre o ambiente, ocasionados pelas actividades de exploração subterrânea que realiza o homem.

## 2.3. Metodologia de gestão

A proposta da metodologia de Gestão Ambiental Subterrânea (GAS) é baseada no processo da gestão ambiental do ambiente exterior, com particularidades próprias do meio subterrâneo, de modo que a exploração dos recursos naturais do subsolo (minerais) se realize com um plano de protecção ambiental e condições de qualidade do ambiente consoante aos padrões existentes.

Esta metodologia proposta da GAS é para situações de ambiente subterrâneo em minas com operação (fig. 3) e para situações de projectos novos (fig. 4).

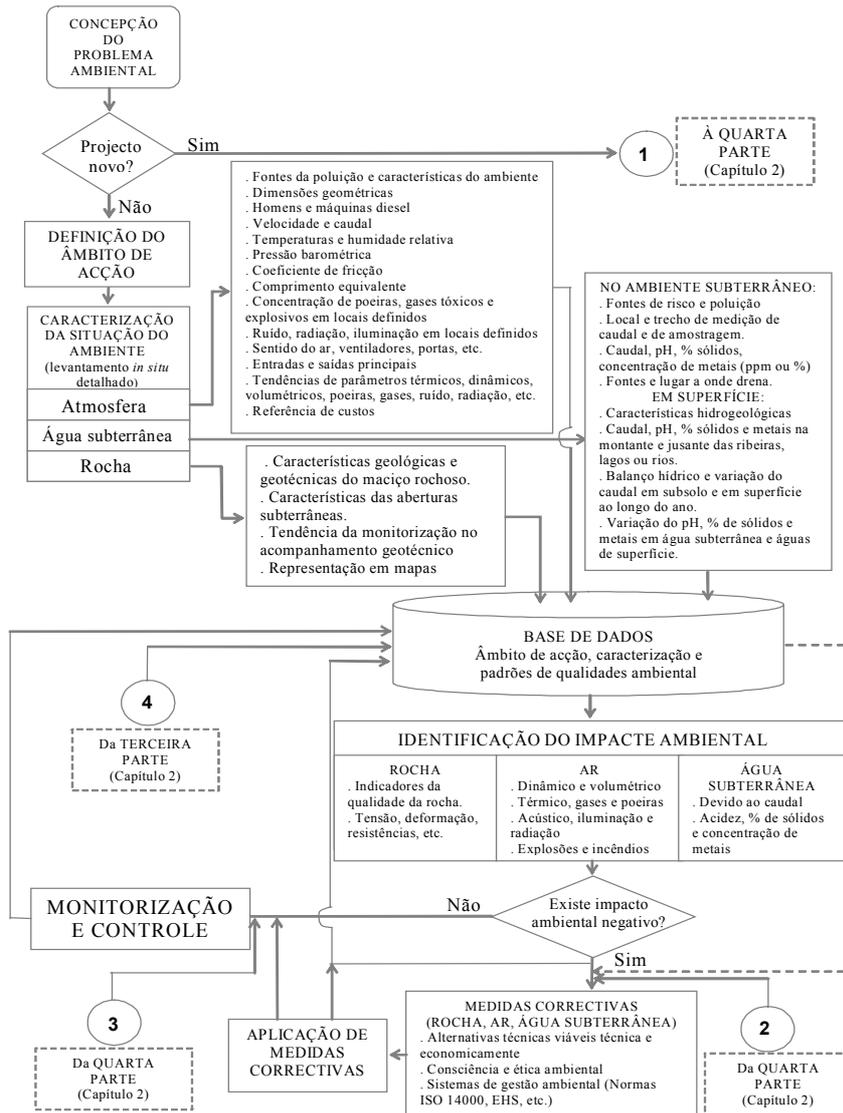


Figura 3 – Metodologia da GAS para minas em operação que integra a figura 4.

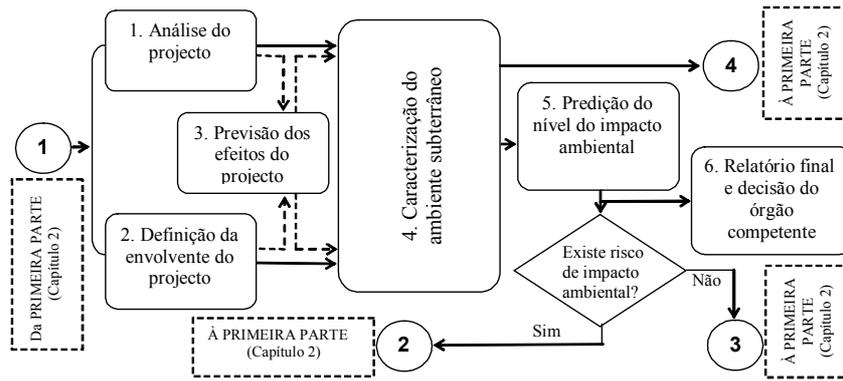


Figura 4 – Estrutura geral da GAS aplicada novos projectos, integrada na figura 4.

### 3. APLICAÇÃO A DUAS MINAS PORTUGUESAS E UMA PERUANA

#### 3.1. Conforto ambiental térmico

Relativamente ao impacto ambiental térmico a aplicação foi na mina de Neves Corvo e aberturas subterrâneas com presença de água termal (nível 3850) na mina de San Rafael. Não se considera a mina da Panasqueira, porque não apresenta problemas relacionados com a temperatura.

Para minas subterrâneas a considerável profundidade (~ 600 a 800 m) que usam explosivo e equipamentos diesel, o caudal do ar  $Q$  ( $m^3/s$ ) que permita obter a temperatura de conforto ambiental pode ser com curvas similares ao ilustrado na figura 5 que é resultado da aplicação de modelos matemáticos desenvolvidos, onde  $T_e$  é a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo ( $^{\circ}C$ ) e  $T_s$  é a temperatura de saída deste ambiente ( $^{\circ}C$ ).

É interessante observar que, quando a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo ultrapassa os  $29^{\circ}C$ , torna-se impossível conseguir a temperatura de conforto ambiental com a utilização de ar, porque precisa de quantidades exorbitantes de ar (curva assintótica) pelo que, a partir desta situação, é preciso um sistema de refrigeração.

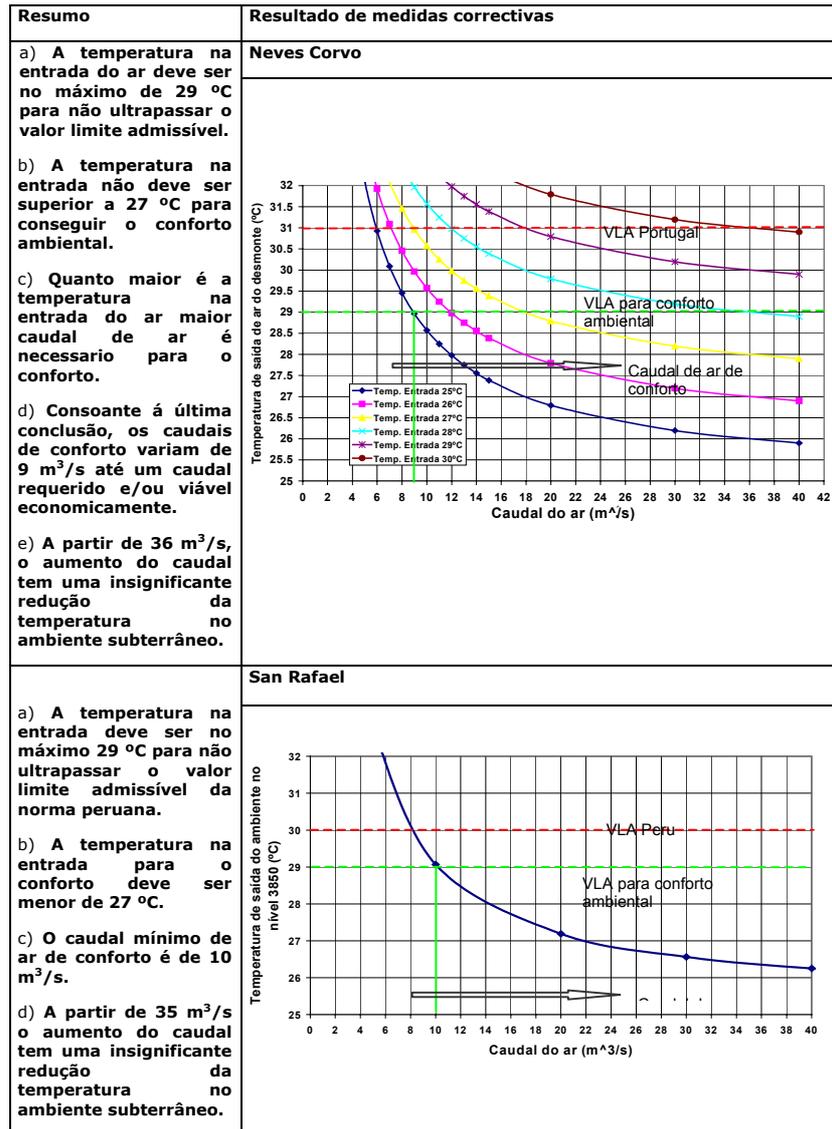


Figura 5 – Resultados da medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental térmico

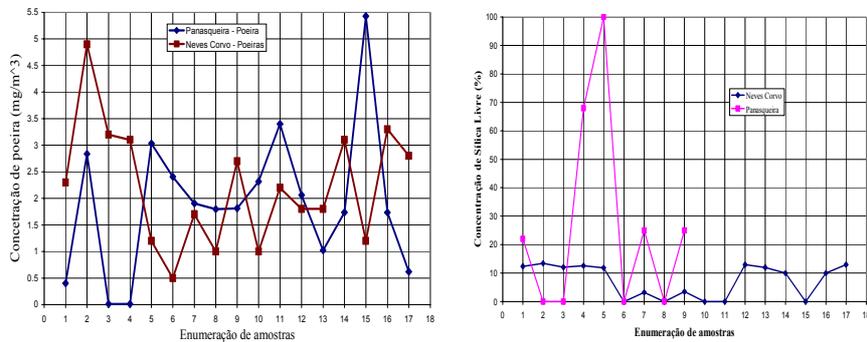
### 3.2. Poluição dinâmica, volumétrica e com poeiras e gases

O ambiente subterrâneo considerado para o estudo da velocidade e caudal do ar abrange perto de 130 km nas três minas, com secções médias que variam de 9 m<sup>2</sup> a 20 m<sup>2</sup> e profundidades de 210 a 1200 metros.

O caudal de ar caracterizado nas aberturas subterrâneas, em relação ao caudal requerido para as condições operacionais de cada mina é menor em 30 a 35%, ocasionando problemas de impacte ambiental de nível alto em alguns locais.

O volume de ar requerido para produzir uma tonelada de minério na mina de Neves Corvo é 11122 m<sup>3</sup>/t, na mina de San Rafael 8129 m<sup>3</sup>/t e na Panasqueira de 4908 m<sup>3</sup>/t. Estes resultados mostram que, quanto maior é a produção maior o é volume de ar necessário.

Nas minas de Neves Corvo e Panasqueira foram identificados uma concentração de NO que varia de 0 a 6 ppm, NO<sub>2</sub> de 0 a 0.4 ppm e O<sub>2</sub> de 20.3 a 20.9 %. As concentrações de poeiras e sílica livre são consideravelmente altas (fig. 6).



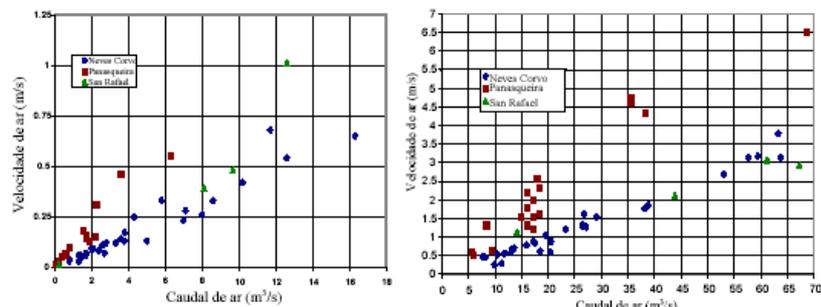
**Figura 6 – Concentração de poeiras (esquerda) e sílica livre (direita) nas minas de Neves Corvo e Panasqueira**

O caudal mínimo admissível nas minas de Neves Corvo e Panasqueira (Portugal) são menores do que na mina de San Rafael (Peru), pelo facto que a norma peruana considerar o caudal mínimo admissível em função da altitude, e estando esta acima de 4000 m, o caudal é praticamente o dobro do requerido nas minas portuguesas.

A grande diferença da potência de motor diesel utilizada na mina de San Rafael é porque o sistema de transporte principal é realizado mediante camiões com motor diesel até o exterior, ou seja, o sistema utilizado é quase em 100% trackless mining, mas nas minas de Neves

Corvo e Panasqueira é por sistema de extracção em poços verticais e inclinados.

As minas de Neves Corvo e San Rafael apresentam impacte ambiental para velocidades até 1 m/s e caudal até 16 m<sup>3</sup>/s, mas na mina da Panasqueira este problema ambiental acontece para velocidades até 0.5 m/s e caudais até 7 m<sup>3</sup>/s (fig.7).



**Figura 7 – Velocidade e caudal de impacte ambiental negativo identificados (esquerda) e da melhor alternativa de medida correctiva aplicada (direita) das três minas em estudo**

As medidas correctivas aplicadas estão compreendidas desde aproximadamente 0.20 m/s para Panasqueira e Neves Corvo, e desde 1.0 m/s para a mina de San Rafael, reflectindo estes resultados a diferença de normas e condições em cada país.

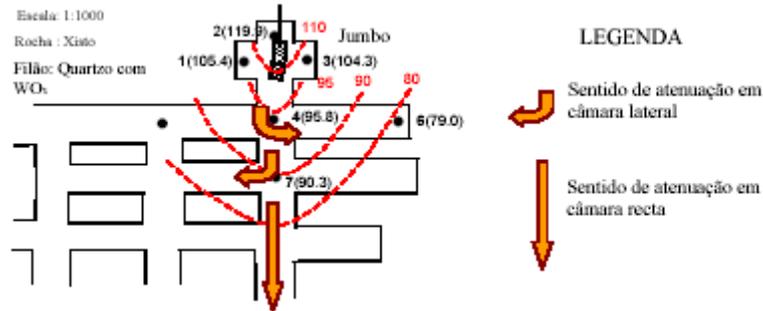
O declive das tendências confirmam a influência da secção das aberturas subterrâneas, ou seja, a menor secção corresponde a maior pendente e vice-versa.

Os resultados comparativos permitem exprimir que a velocidade mínima de ar para obter uma boa qualidade está entre 0.5 a 0.8 m/s (velocidade crítica).

Os custos por m<sup>3</sup> de ar na atmosfera subterrânea na mina de San Rafael são 3.5 vezes e 14 vezes maiores que em Neves Corvo e Panasqueira, respectivamente, e os custos em Neves Corvo são 4 vezes maiores que na Panasqueira.

### 3.3. Impacte ambiental acústico

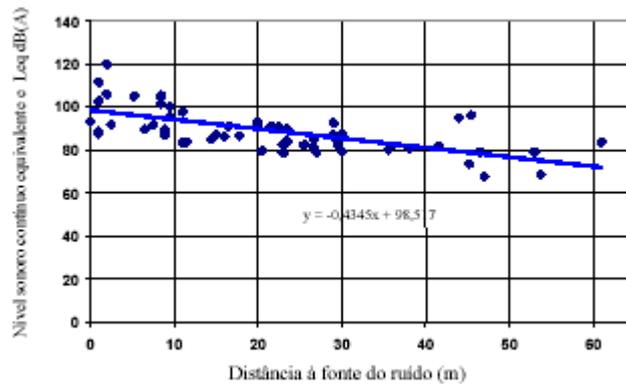
Este descritor ambiental foi estudado na mina da Panasqueira (fig. 8), onde o nível sonoro contínuo equivalente Leq máximo caracterizado varia desde 92 dB (A) até 120 dB (A).



**Figura 8 – Sentido da propagação das ondas sonoras nos desmontes de câmaras e pilares**

Comparativamente com os registos das medições em Neves Corvo o nível sonoro contínuo equivalente no ambiente subterrâneo da Panasqueira é maior. Por exemplo, no caso do LHD diesel na Panasqueira é maior em 6 dB (A), nos jumbos de perfuração é maior em 15 dB (A) e nos ventiladores é maior em 14 dB (A). Esta diferença poderá ser provocada pela menor secção da escavação subterrânea e a distância onde foi medida.

Em termos gerais a tendência da atenuação do ruído pela distância para todas as fontes importantes identificadas está patente na fig. 9.



**Figura 9 – Tendência da atenuação do ruído pela distância no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira**

As medidas de protecção colectiva são formas de intervenção ao nível estrutural tais como: actuação sobre a fonte produtora de ruído e

actuação sobre as vias de propagação, como é o caso do isolamento anti-vibratório, tratamento acústico das superfícies e cabinas.

A medida de organização é relacionada com a diminuição do tempo de exposição do homem, que é possível conseguir, por exemplo, com a rotação do pessoal.

### 3.4. Impacte ambiental nas águas subterrâneas e medidas de correctivas

Estudos sobre o problema ambiental no domínio ambiental água no ambiente subterrâneo também foi realizado na mina da Panasqueira (fig. 10), portanto a análise é baseada fundamentalmente nestes resultados, mas considera-se importante referir o resultado de estudos realizados na mina de Neves Corvo (Fernandez Rubio, et al., 1990).

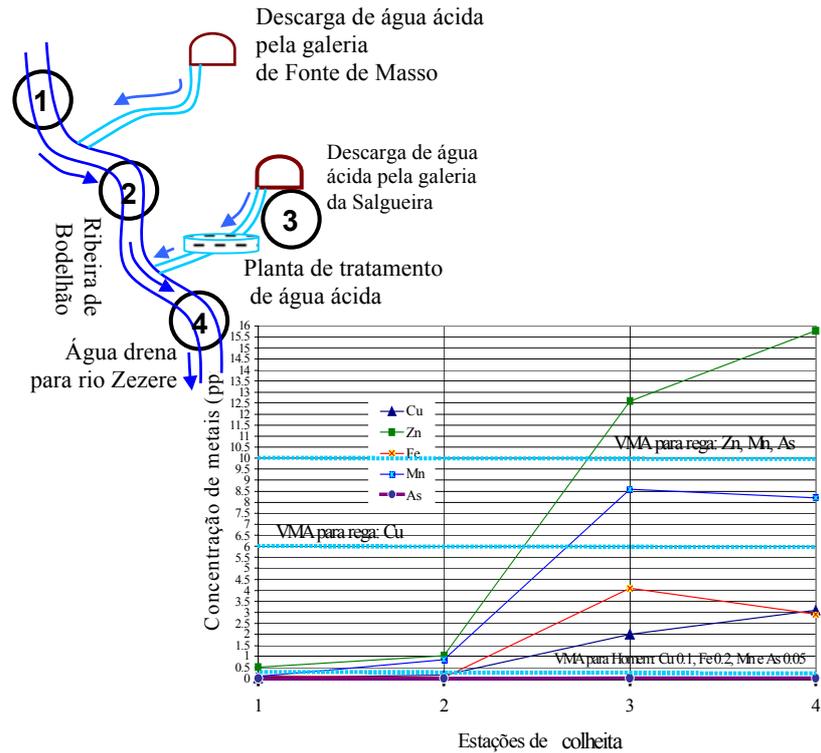


Figura 10 – Concentração de metais nos pontos de colheita da ribeira de Bodelhão

A medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental pela presença de metais e o pH podem ser processos químicos e/ou biológicos (passivos) (fig. 11), onde os últimos apresentam menores custos.

### 3.5. Instabilidade e desabamento de rochas e medidas correctivas

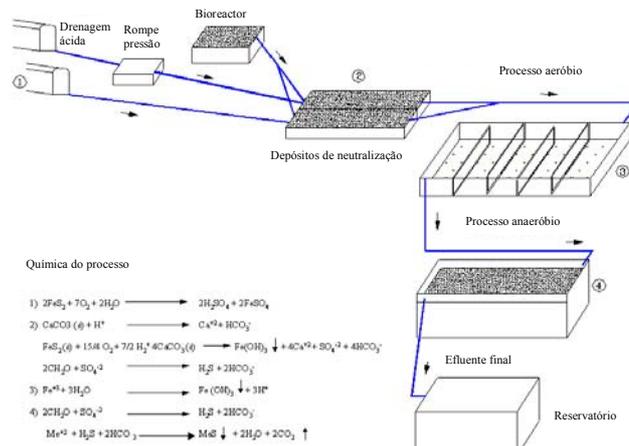
As rochas presentes nas áreas de estudo na mina de Neves Corvo são observadas na rampa CRAM03 e desmontes Bench and Fill da área Neves Norte e são principalmente do grupo filito - quartzito (PQ) e complexo vulcano -sedimentar (CVS).

Para a avaliação do impacte ambiental subterrâneo devido ao desprendimento e instabilidade das rochas, não existe uma norma, e portanto a forma mais recomendável de realizar esta avaliação é procurando padronizar os parâmetros geotécnicos do maciço num local determinado.

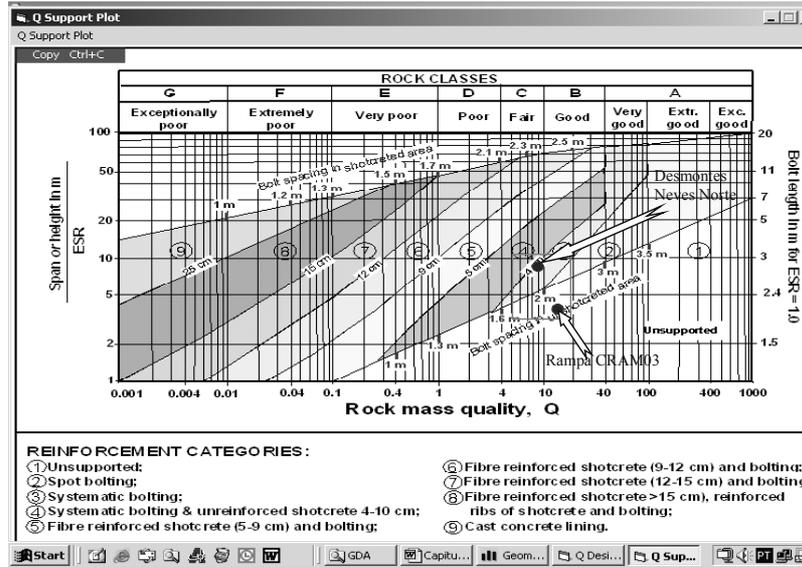
Na mina de Neves Corvo e na área da rampa CRAM03 foram identificadas zonas sem impacte ambiental e outras áreas de leve a moderado, com presença dum só trecho com alto impacte ambiental.

As medidas correctivas adoptadas foram com base na metodologia proposta por Barton e Grimstad (fig. 12).

Para o impacte ambiental de nível alto identificado na rampa CRAM03, considerou-se recomendável aplicar pregagens ou cabos de 20 a 25 mm de diâmetro e 3.7 m de comprimento, espaçados a 2.5 m, com uso ocasional de malha e betão projectado de 3 cm de espessura.



**Figura 11 – Tratamento de águas ácidas mediante o sistema passivo**



**Figura 12 – Determinação da medida correctiva com o ábaco de Barton e Grimstad**

#### 4. COCCLUSÕES

O ambiente subterrâneo, como o ambiente exterior, é um sistema dinâmico de interacção mútua e integral dos quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e o componente biológico (homem).

Face aos crescentes avanços da engenharia ambiental no sentido do desenvolvimento sustentável, o ambiente subterrâneo não pode ser uma excepção, porquanto a engenharia ambiental subterrânea desenvolvida mostra a aplicabilidade dos princípios, conceitos, processos e sistemas de gestão contemporâneos.

São válidos os modelos matemáticos, técnicas e sistemas de gestão desenvolvidos para avaliação do impacte ambiental relacionado com factores ambientais de: temperatura; gases tóxicos; poeiras; velocidade e caudal do ar; ruído; explosão e incêndio; iluminação e radiação; quantidade e qualidade das águas subterrâneas e a instabilidade e desprendimento de rochas.

A gestão ambiental subterrânea é aplicável a explorações subterrâneas em operação e para projectos novos.

Para a gestão do ambiente subterrâneo são aplicáveis os sistemas de gestão ambiental (EMS) ISO 14001 e o sistema de gestão integrado de ambiente, saúde, segurança (EHS).

## **7. BIBLIOGRAFIA**

DINIS DA GAMA, CARLOS (2000), "Geotecnia Ambiental – Perspectivas e Aplicações", Revista Geotecnia n.º 90, Lisboa, Portugal.

FERNÁNDEZ RUBIO, R., et al., (1988). "Mining-Hydrological characteristics of the Underground Copper Mine of Neves-Corvo, Portugal". Third International Mine Water Congress. Melbourne, Australia.

NAVARRO TORRES, V. et al.2005. "Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações". Roberto C. Villas Bôas (Ed.), CETEM/CNPq/CYTED-XIII, 550 p., ISBN 85-7227-210-0, 2005.

## **GESTIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA INDUSTRIA EXTRACTIVA ESPAÑOLA**

Dr. *Arsenio González Martínez, Domingo Javier Carvajal Gómez,*  
Grupo de Minería Ambiental para el Desarrollo  
Universidad de Huelva, [arsenio@uhu.es](mailto:arsenio@uhu.es) , [djcarvaj@uhu.es](mailto:djcarvaj@uhu.es)

---

### **RESUMEN**

En términos generales, es viable el equilibrio entre una explotación minera y el medio ambiente, pero esto requiere una concepción de la actividad extractiva que considere los factores ambientales de forma integrada en cada una de las fases de los procesos minero-metalúrgicos.

Toda explotación minera debe de constituir un proyecto de futuro a medio o largo plazo dentro de un marco legal de desarrollo sostenible, que contemple el equilibrio de la realidad geológica, que determina la ubicación de los yacimientos, con la explotación de los recursos y con la restauración de los terrenos adecuada a las prescripciones de la legislación ambiental.

La industria extractiva española, gestora de recursos mineros necesarios e insustituibles para el desarrollo de la sociedad y la mejora de la calidad de vida, es consciente de que debe conciliar la eficacia económica de la actividad con la calidad de la producción y con la preservación del entorno ambiental.

La gestión del impacto medioambiental de la industria extractiva española pretende conciliar buenas prácticas para integrar la prevención de las afecciones sobre el medio ambiente en las diferentes etapas de la actividad.

**Palabras clave:** buenas prácticas medioambientales, evaluación de impacto ambiental de minas y canteras, explotaciones a cielo abierto, cierre de minas, impactos provocados, caracterización de alteraciones, medidas correctoras, técnicas de restauración de zonas afectadas por actividades extractivas.

### **INTRODUCCIÓN**

La extracción y aprovechamiento de recursos minerales (materias primas en general no renovables) son aspectos de gran incidencia en su disponibilidad futura.

La minería, es una de las actividades más antiguas realizadas por el hombre, cuya evolución se ha producido de manera paralela a los avances de la humanidad y tanto en el pasado como actualmente constituye un importante sector económico en España y en el resto del mundo.

Tradicionalmente la minería ha soportado sobre sí el baldón de actividad agresiva, que provoca grandes impactos ambientales, viéndose con frecuencia denostada y atacada desde casi todos los frentes ambientalistas, a pesar de ser imprescindible para el desarrollo y para el día a día de la humanidad. Este pasivo existe esencialmente como consecuencia de que, hasta tiempos recientes, los aspectos ecológicos no fueron objeto de preocupación, uniéndose a ello el que en la minería los efectos perduran por un largo plazo (si no se actúa a tiempo).

Todo ello ha conducido a la mayoría de los países industrializados a la necesidad de dar una respuesta efectiva a estos problemas con el fin de evitar cualquier atentado contra la naturaleza y proteger la calidad de vida. Hoy en día existen suficientes conocimientos y técnicas disponibles para corregir, e incluso mejorar, aquellos impactos que no haya sido posible prevenir o evitar durante y tras el cierre de la actividad extractiva, y forman parte de lo que se ha dado en llamar "tecnologías limpias" o "buenas prácticas medioambientales en la industria extractiva", de las que Europa tiene una experiencia que se ha ido consolidando en los últimos años (Brodtkom, 2002).

Actualmente existen normativas muy estrictas sobre el impacto que puede producir una explotación minera, que incluyen una reglamentación de la composición de los vertidos líquidos, de las emisiones de polvo, de ruidos, de restitución del paisaje, etc., que ciertamente a menudo resultan muy problemáticos de cumplir por el alto costo económico que representan, pero que indudablemente han de ser asumidos para llevar a cabo la explotación. La legislación medioambiental española en materia de minería se puede considerar pionera con respecto a otros sectores pues arranca desde la vigente Ley de Minas (Ley 22/1973 de 21 de julio), ya que en relación con los problemas medioambientales que venían produciéndose en las explotaciones mineras, adopta una postura exigente y ambiciosa que, sin embargo y como la realidad ha mostrado, no ha conducido a dotar de un marco íntegro que diera satisfacción a la doble visión del desarrollo de las actividades mineras y de respeto al medioambiente.

La Ley de Minas, en el artículo 81, responsabiliza al explotador de los daños y perjuicios ocasionados con sus trabajos al infringir las prescripciones establecidas para proteger el medioambiente. Pero habría de ser la Comunidad Autónoma Catalana, la que mediante la aprobación de una Ley 12/1981 de Protección de espacios de especial interés afectados por actividades extractivas, llegaría a cubrir la laguna originada por la Ley de Minas tratando de compatibilizar el medioambiente y el desarrollo económico. Tras esta Ley, el Estado, con objeto similar al previsto en la Comunidad de Cataluña, aprueba las siguientes normas:

- Real Decreto 2994/1982 de 15 de octubre sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras.

- Orden de 20 de noviembre de 1984 por la que se desarrolla el Real Decreto 2994/1982 sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras.
- Real Decreto 1116/1984 de 9 de mayo sobre la restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento racional de estos recursos energéticos.
- Orden de 13 de junio de 1984 sobre normas para la elaboración de los planes de explotación y restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento racional de estos recursos energéticos.

Estas normas obligan a restaurar el suelo afectado, así como garantizar que de la ejecución de los trabajos de restauración se haga a cargo de la empresa explotadora y regula el depósito de avales para poder hacer frente a las labores de restauración.

Posteriormente el Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el Real Decreto 1131/1998, de 30 de septiembre, Reglamento para la ejecución de la Evaluación de Impacto Ambiental, completó y normalizó este importante procedimiento administrativo trasponiendo la Directiva comunitaria 85/377/CEE, de 27 de junio de 1985. En estos se establece el procedimiento a seguir en la EIA y su contenido. La Evaluación de Impacto Ambiental es un informe vinculante sobre la conveniencia o no de autorizar la explotación minera y, en caso afirmativo, fija las condiciones en que debe realizarse la actividad en orden a la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales. El trámite de iniciación y consultas previo a la redacción del estudio de impacto y la obligatoriedad de someter el estudio a información pública con antelación a la Declaración de Impacto, permiten la posibilidad de una intervención social. Quedan sometidas a la EIA tan solo aquellas explotaciones mineras que reúnan alguno de los requisitos que establece, en cuanto a tipología, volumen y ubicación.

La Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los espacios naturales y de la fauna y flora silvestres (Disposición Adicional) introduce un nuevo supuesto: el caso de actividades que supongan alteraciones en el uso del suelo que impliquen la eliminación de la cubierta vegetal arbustiva o arbórea, especialmente cuando afecten a superficies superiores a 100 hectáreas.

Posteriormente este Real Decreto fue modificado por: Real Decreto-Ley 9/2000, de 6 de octubre y la Ley 6/2001, de 8 de mayo de Evaluación de Impacto Ambiental, que traspone la Directiva 97/11/CEE, de 3 de marzo, quedando recogidos en el Anexo I Grupo 2: Industria extractiva, aquellas actividades extractivas que requieren EIA y en el

### Anexo II Grupo 3: Industria extractiva, aquellas que se dejan a juicio del órgano ambiental

Por su parte, las diferentes Comunidades Autónomas, una vez efectuadas las transferencias en materia de medioambiente y minería, han ido completando el panorama legislativo, dictando regulaciones específicas para las actividades mineras o para la protección del medioambiente. Así, en Andalucía está vigente la Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental y sus tres desarrollos reglamentarios, Decretos 292/1995 y 153/1996 de 12 de diciembre y de 30 de abril, respectivamente, que recogen aquellas actividades sometidas a Evaluación e Informe Ambiental.

Los recursos minerales se clasifican según la Ley de Minas en cuatro secciones (A, B, C y D) atendiendo al tipo de recurso geológico o minero y su tratamiento. Según la obtención de los recursos naturales, existen dos principales tipos de extracción:

- Explotación subterránea. La agresividad de la minería subterránea es, en líneas generales, menos grave que la de superficie. Tiene sin embargo mayor incidencia en lo que se refiere a la salud y condiciones de trabajo de las personas.
- Explotación superficial o a cielo abierto. Ofrece un mayor impacto en el medio ambiente. En este grupo se incluyen las canteras de materiales para construcción y rocas ornamentales y de áridos para carreteras.

La legislación de principios de los años 80 obliga a las industrias mineras a asumir la restauración del entorno afectado por la explotación, pero existe una cantidad importante de explotaciones cerradas (o abandonadas) antes de esa fecha cuya rehabilitación ha quedado a cargo de la Administración. Un ejemplo típico de esta situación son las numerosas escombreras de antiguos estériles abandonadas por toda la geografía del sector de la Faja Pirítica Ibérica en la provincia de Huelva.

El estado de abandono de las explotaciones se ve agravado en muchos casos por la proliferación de uso vertederos de residuos urbanos y escombros. La restauración de estas áreas por las Administraciones públicas, a pesar del interés de las mismas y de la existencia de disponibilidad presupuestaria, se ve imposibilitada en muchas ocasiones porque la titularidad del terreno la ostentan empresas o particulares. Los mecanismos legales para la expropiación de estos terrenos serían los urbanísticos, delimitando estas zonas en los planeamientos municipales como áreas de recuperación minera y de uso o de equipamientos públicos, de forma que los espacios restaurados o rehabilitados pudieran destinarse a uso público. La actividad extractiva deja en el territorio abundantes señas de su paso, que su restauración y puesta en valor puede constituir un importante motor de desarrollo económico a través de museos o parques.

En la clausura de una explotación minera, además de los correspondientes problemas medioambientales que surgen, hay que sumar los socioeconómicos debidos a las personas que pierden su trabajo por la dependencia industrial y económica de los pueblos mineros de la explotación de la mina y la pérdida del valor patrimonial del territorio.

### **BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES EN LA INDUSTRIA EXTRACTIVA ESPAÑOLA**

La industria extractiva española opera en un marco de reglas estrictas y directivas legales en todas las etapas de su actividad. En este aspecto incide el estudio preparado para asociaciones mineras, conocido como Guía de Buenas Prácticas Medioambientales en la Industria Extractiva Europea, con el apoyo de la Dirección General de Empresas de la Comisión Europea (Brodtkom, 2002), de la que se hizo eco la Dirección General de Política Energética y Minas de España, y que se está aplicando (o al menos se pretende) en la minería española.

En base a ello, los empresarios de la minería española han venido implementando en los últimos años un número creciente de medidas para reducir al mínimo todos los efectos y perturbaciones producidos por la actividad extractiva. Estas medidas comprenden, entre otras, los estudios de impacto ambiental (EIA), los procedimientos de autorización, los planes de restauración, las inversiones en tecnologías limpias y en equipos de mejor rendimiento, el control de los valores límite de emisión de ruido y polvo, las nuevas rutas de transporte para desviar el tráfico de las zonas urbanizadas, etc.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) constituye hoy una técnica generalizada en la que se analiza a través de parámetros cuantitativos y cualitativos el estado del medioambiente antes, durante, y después de la actividad extractiva propuesta. Esto significa en términos prácticos, que los proponentes de la actividad deberán predecir los cambios que se producirán en el medio, y sugerir medidas correctoras que impidan o mitiguen en lo posible los inherentes trastornos que serán causados, incluyendo un plan que permita restaurar el medio físico y biológico a su estado original o según el caso rehabilitar el medio para otros usos.

En la puesta en marcha de una actividad extractiva se pueden diferenciar claramente cinco etapas: exploración, instalación, explotación, clausura y post-clausura. Los proyectos mineros son diferentes a los del resto de las actividades industriales en dos aspectos principales:

- a) La localización de una mina viene predeterminada por la localización del recurso mineral explotable. Podemos construir una fábrica en el mejor sitio posible bajo el punto de vista ambiental, sin embargo una mina tiene una sola localización posible (la que le impone la geología del yacimiento).

b) El comienzo de la actividad minera viene precedido por un largo proceso de exploración regional y evaluación local. Este proceso puede tardar entre 10 y 15 años.

Bajo la legislación española y Comunitaria actual, una compañía minera con serias intenciones de establecerse en una región y desarrollar actividades mineras, deberá empezar a recabar datos ambientales durante la fase de exploración, y contemplar el proyecto de cierre en el proyecto general de explotación minera.

Una vez que un depósito mineral ha sido descubierto como resultado de la campaña de exploración, se pasa a la EIA propiamente dicha. En la EIA tenemos que distinguir tres apartados:

- 1) Inventario ambiental, o estudio de Línea Base (Baseline), es decir, una "auditoria" del "estado del medioambiente", antes de que empiece la actividad minera.
- 2) Descripción y análisis de los potenciales impactos ambientales derivados del proyecto minero (análisis predictivo).
- 3) Plan de rehabilitación y uso final del terreno tras el cierre de actividades.

La EIA tiene que estar completada antes de que empiecen las labores mineras; este será el requisito fundamental para solicitar el permiso de explotación del recurso mineral a las autoridades pertinentes.

Si la campaña de exploración ha dado sus frutos (localización de un cuerpo mineralizado económico), la compañía minera deberá empezar la investigación de Línea Base, que permite desarrollar un marco de referencia para poder controlar adecuadamente los cambios medioambientales generados durante y después de la actividad minera.

Los aspectos a considerar en un inventario ambiental son diversos y en algunos casos complejos. La importancia de unos y otros variará en función de las características del proyecto minero y del medio donde se desarrollará. En términos generales, deberán cubrirse los siguientes aspectos: paisaje, hábitat, clima, geología y suelos, flora y fauna, aguas de superficie y subterráneas, usos del suelo, socioeconómico, y cultural y científico.

En definitiva, el principal objetivo de este tipo de estudios es el de indicar los elementos y características medioambientales susceptibles de ser afectados por la explotación minera, sobre los que se establecerán las recomendaciones de acciones correctoras, temporales o permanentes, y la definición de los criterios generales y específicos de restauración (Land reclamation) y recuperación de terrenos o de otros usos alternativos de rehabilitación.

Siempre es de gran interés delimitar, dentro del ámbito general de la explotación, las distintas acciones que producen impacto (acciones

impactantes: excavaciones, voladuras, emisión de gases y efluentes líquidos, creación de vías de transporte, etc.), así como establecer sobre qué aspectos concretos del medio se produce cada impacto (factores impactados: vegetación, fauna, paisaje).

Por definición, todo proyecto minero causará un severo impacto en una zona. Una vez completada la Línea Base, la EIA debe incluir un listado de los impactos ambientales que podría generar el proyecto minero, y, por supuesto, deberá incluir además un listado de las medidas correctoras que se adoptarán:

- Impacto visual. A menudo la visión de una mina y sus instalaciones es el único contacto que tiene la gente con la actividad minera. Así el EIA deberá dejar claro cual será la extensión de dicho impacto y las medidas correctoras que se adoptarán, entre ellas la implantación progresiva de una cobertura vegetal estable, pantallas arbóreas, control de formas o geometrías, reducir y/o eliminar los riesgos de erosión, diseño de taludes y pendientes estables, etc., de modo que se logre una integración paisajística.
- Hidrología. Las actividades mineras llevan consigo una modificación de los cauces. Producen importantes cambios en el balance de agua, al modificar la infiltración y escorrentía. Las escombreras se convierten en peligrosos focos de contaminación para las aguas superficiales y subterráneas, produciéndose pérdida de su calidad por procesos de lixiviación. El control y tratamiento de aguas se debe realizar a través de canales de desvío para escorrentías evitando mezclas con aguas de zonas de trabajo, disminuyendo el tiempo de residencia en los materiales de la mina y llevándola a los lugares adecuados para su almacenamiento temporal y posterior tratamiento, utilizando balsas de decantación. Deberá contemplarse también la capacidad de almacenamiento y reutilización de agua para las actividades de mina y planta de tratamiento de minerales.
- Flora y fauna. Por definición las actividades mineras impactarán negativamente en la flora y fauna debido a la pérdida de suelo, presencia humana, maquinaria, movimiento de vehículos, o ruido. Las medidas a tomar pasan por la regeneración de la calidad del medio, sobre todo, de los suelos y aguas, de modo que pueda reinstalarse la vegetación y la fauna.
- Ruido. El ruido puede ser importante si las operaciones mineras se desarrollan cerca de núcleos urbanos. Para eliminarlos, se deben introducir barreras sónicas con pantallas naturales o artificiales.
- Vibraciones - estabilidad del terreno. Si la actividad minera se desarrolla cerca de centros urbanos, la voladura de rocas puede inducir vibraciones inaceptables. A este problema debemos agregar el de las ondas de choque generadas por las explosiones. El EIA deberá

entregar datos predictivos de dichos impactos. Otro factor a considerar, esta vez en relación a la minería subterránea, es la subsidencia del terreno debido al desarrollo galerías y cámaras de extracción.

- Polvo y otras emisiones a la atmósfera. El polvo puede ser un problema si existen centros urbanos en las cercanías de la explotación minera. Aun si la zona no está habitada el polvo afectará a la vegetación. Este impacto puede ser corregido mediante el riego de las zonas de trabajo y las pistas de acarreo. También se ha de proceder a una revegetación rápida de las zonas en las que se abandonan las actividades de forma permanente o temporal y la formación de pantallas arbóreas que capten el polvo en las proximidades de los focos de producción. Además las plantas de tratamiento deberán estar localizadas en naves e instalaciones construidas y equipadas a tales efectos. Otras emisiones relacionadas con la actividad minera incluyen las generadas por la combustión de los motores de los vehículos y maquinaria minera, y, muy importante, las producidas por las fundiciones. Las medidas correctoras incluirán el tratamiento de los gases.
- Tráfico. El movimiento de camiones y otros vehículos causa trastornos en las comunidades locales, generando ruidos, pérdida de seguridad vial, y problemas con el mantenimiento de las carreteras. El EIA deberá incluir los siguientes puntos: tipo y volumen de tráfico antes de la actividad minera, identificación de las rutas a utilizar y tipo de vehículos que circularán por ellas, evaluación del impacto ocasionado por el aumento de tráfico rodado y proyecto de mantenimiento de las rutas.
- Manejo de productos químicos, hidrocarburos, y explosivos. Las actividades mineras utilizan una amplia gama de este tipo de productos. El informe deberá incluir un listado de los mismos y cumplir con la ley de manejo de sustancias tóxicas y peligrosas. Además deberá dejar claro como se almacenarán dichas sustancias.
- Manejo de riesgos. A pesar de todas las precauciones que se puedan tomar, siempre existirá la posibilidad de accidentes. El EIA deberá incluir un listado de riesgos y detallar los planes de emergencia en caso de accidente. Eliminar los riesgos de accidentes y de impactos exteriores implica señalización, corrección de áreas peligrosas (cortes, taludes inestables), etc.
- Manejo de materiales de desecho. Por definición las actividades mineras generan una gran cantidad de desechos químicos provenientes de las plantas de tratamiento, pilas de lixiviación, presas y escombreras de estériles, etc. El informe deberá explicitar los siguientes aspectos:

- Las características químicas de los desechos, concentraciones estimadas de los compuestos tóxicos, y el potencial de éstos para generar lixiviados.
  - Una estimación del volumen de desechos y una demostración de que la empresa dispone de la capacidad física para acumularlos.
  - Estabilidad geomecánica de las presas de residuos.
  - Un plan para el vertido controlado de otros desechos, por ejemplo, aguas de alcantarillas, desechos orgánicos, materiales de construcción, etc.
- Impacto social y económico. La actividad minera tiene un carácter económico que puede incidir de manera importante en las comunidades locales. El informe deberá incluir los siguientes puntos:
- Una estimación del valor de la producción.
  - Empleo directo e indirecto, número estimado de gente local que será empleada, impacto en la tasa de paro (desempleo) local.
  - Estimación de inversiones en infraestructuras adicionales en las comunidades locales.
  - Impacto en el estilo y medio de vida de las comunidades locales.

El Plan de restauración de una actividad extractiva debe tender a evitar la degradación de los terrenos durante o una vez finalizada la actividad minera, asegurando además el mejor uso posterior de acuerdo con las circunstancias naturales, socioeconómicas, urbanísticas, de paisaje, etc. de la zona donde se encuentre ubicada.

Según el R.D. 2994/1982 de 15 de octubre sobre Restauración del espacio natural afectado por actividades mineras, los planes de restauración deberán contener al menos:

- Información detallada sobre el lugar previsto para la labor minera y su entorno, con descripción del medio físico, vegetación, paisaje, medio socioeconómico, características del aprovechamiento minero y de sus servicios e instalaciones.
- Medidas previstas para la restauración del medio natural afectado por la explotación (acondicionamiento de la superficie, medidas contra la erosión, de protección del paisaje, de almacenamiento de los residuos mineros, etc.).
- Calendario de ejecución y coste estimado de los trabajos de restauración.

La definición de restauración, en sentido estricto, implica reproducir las condiciones exactas anteriores a la explotación, después que

esta concluya. Debido a que muchos valores se pierden de manera irreversible (por ejemplo, los minerales extraídos), la restauración completa es prácticamente imposible. Más realista es contemplar el término restaurar como sinónimo de recuperar o rehabilitar.

Si no es posible conseguir integrar un espacio en el paisaje, puede tener otros valores que lo hagan más útil para la sociedad. Así las minas pueden tener un alto valor didáctico (como aulas/museo naturales) o con valores ornamentales y paisajísticos (por ejemplo, Las Medulas, León). Una alternativa para su recuperación también puede ser la rehabilitación como "anfiteatros" (por ejemplo, canteras en Marbella, Málaga).

Hemos de tener siempre presente que dentro de la actividad minera cada subsector es completamente diferente, las soluciones de un sitio no son extrapolables al resto ya que es una actividad en la que influyen muchísimos factores, lo cual exigirá un mayor esfuerzo de aproximación a los condicionantes reales de cada caso.

Es necesario considerar que los problemas medioambientales pueden ser también problemas diferidos en el tiempo que requerirán, por lo general, una vez clausurada la mina, de un programa de seguimiento y vigilancia (Follow-up) de la explotación minera creado durante el desarrollo de la actividad.

Así mismo para este seguimiento y verificación es posible realizar auditorias de gestión ambiental basándose en la norma ISO 14000. El objetivo principal de la auditoria sería la identificación de cualquier problema existente o potencial relacionado con el medio ambiente. A partir de este momento, se deberá establecer un programa para la resolución de los problemas que se hayan detectado en un periodo de tiempo razonable.

Se considera conveniente también realizar una auditoria, previa a la clausura de las explotaciones, que pueda asegurar que la instalación minera no vaya a suponer en el futuro una merma o degradación de la situación ambiental de la zona.

La auditoria deberá proporcionar un conocimiento de la situación medioambiental en que queda la explotación, los riesgos potenciales futuros una vez corregidos los problemas previos que hayan podido ser identificados y las responsabilidades también futuras. Se asegura con ello que, en el caso de producirse un acontecimiento medioambiental negativo, se estará en condiciones de gestionar el control del incidente con una información útil y con unas máximas garantías de éxito.

Las estrategias de desarrollo de los municipios mineros requieren como objetivos prioritarios, necesarios para la promoción de la actividad empresarial y mantenimiento de los niveles demográficos: la recuperación urbanística de las comarcas y los núcleos mineros a través de planes de ordenación, urbanización y tratamiento de fachadas; la recuperación de la

calidad de las aguas de los ríos, la recuperación ambiental de los cauces y riberas, ocupados con estructuras mineras y edificaciones y cierres particulares; la recuperación de suelos e instalaciones abandonadas, como escombreras, parques de materiales, áreas de acopio, pozos abandonados, etc., dándoles nuevos usos mediante planes de rehabilitación, integrando los elementos de patrimonio industrial y la recuperación del paisaje. Todas estas actuaciones de recuperación de espacios degradados, junto con la adopción de las medidas de prevención y restauración en las explotaciones en funcionamiento, deben posibilitar la sostenibilidad de la explotación de los recursos naturales con la conservación del medio natural y el desarrollo socioeconómico.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Aparicio, M. (1999). Guía práctica para la prevención y control del polvo en canteras y graveras. Ed. Entorno Gráfico. Madrid.
- Ayala, F. y Rodríguez, J.M. (1986). Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros. Serv. Public. ITGE. Madrid.
- Brodkom, F. (2002). Guía de Buenas Prácticas Medioambientales en la Industria Extractiva Europea. Aplicación al Caso Español. Dirección General de Política Energética y Minas. Ministerio de Economía. Madrid.
- Bustillo, M. y López Jimeno, C. (2000). Recursos Minerales: tipología, exploración, evaluación, explotación, mineralurgia e impacto ambiental. Ed. Entorno Grafico. Madrid.
- Duque, R.A.; Rodríguez, T.; Pérez, J.I. y Molina, C.(1997). Minería y Medio Ambiente. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Gutián, F. (1995). Recuperación de las escombreras de la mina de lignitos de Meirama (A Coruña). Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Santiago de Compostela.
- ITGE (1989). Manual de Restauración de terrenos y evaluación de Impactos Ambientales de Minería. Serv. Public. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- ITGE (1991). Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Serv. Public. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.
- ITGE (1996). Guía de Restauración de Graveras. Servicio Public. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Junceda, J. (2001). Minería, medioambiente y ordenación del territorio. Ed. Cívitas. Madrid.

Santiago, J.C. (1999). Guía práctica para el control del ruido ambiental en canteras y graveras. Ed. Entorno Gráfico. Madrid.

Sengupta, M. (1993). Environmental impact of mining: Monitoring, restoration, and control. Lewis Publishers. USA.

## **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ACUERDO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL SECTOR DE LOS MINERALES NO METÁLICOS**

*Beatriz Olivo Chacín  
Venezuela*

---

### **INTRODUCCION**

Venezuela no dispone de un instrumento que promueva la Producción Más Limpia en su industria nacional. Comparativamente con otros países latinoamericanos, el país se encuentra rezagado en esta materia. El reto que se presenta es el de iniciar el tránsito hacia el diseño y aplicación de procedimientos innovadores y más eficientes en el uso de los recursos y en la prevención y reducción de la contaminación, que al mismo tiempo se traduzca en mejoras progresivas de la productividad y la competitividad de la industria minera nacional.

En septiembre del año 2005, por iniciativa privada y en alianza con el Estado venezolano, se creó la asociación civil sin fines de lucro Centro Venezolano de Producción Más Limpia CVP+L, con la finalidad de impulsar al colectivo empresarial público y privado, especialmente a las PYMES, a que adopten los principios, las actitudes y prácticas de la producción más limpia como una forma de garantizar el desarrollo sostenible y la equidad social.

Bajo este enfoque rector de prevención de la contaminación, el CVP+L, conjuntamente con la Fundación Fondo Venezolano de Reconversión Industrial y Tecnológica FONDOIN y el sector privado, está impulsando el desarrollo de dos proyectos piloto con los sectores productivos del arroz y de los porcinos, para la adopción de prácticas agronómicas e industriales sanas mediante la aplicación de los principios de la producción más limpia en toda la cadena productiva.

De otra parte, el CVP+L está consciente que el sector minero, y en particular el de los minerales no metálicos, puede ser objeto de mejoramiento e implantación de tecnologías limpias, por lo cual es posible diseñar un acuerdo que plantee consolidar el desarrollo sustentable de este subsector, en particular en el área centro-occidental del país. Este tema ya ha sido conversado preliminarmente con la Cámara Minera de Venezuela CAMIVEN.

Para disponer efectivamente de herramientas que permitan al sector de los minerales no metálicos un mejoramiento gradual y continuo y fortalecer sus condiciones de sustentabilidad y proyección, resulta relevante que se cuente con políticas claras y efectivas, permitiendo, además, la formación de alianzas estratégicas que validen los compromisos adquiridos por el sector minero ante las autoridades competentes, y

faciliten su acceso a recursos estatales disponibles para el desarrollo tecnológico y la protección del medio ambiente.

Los Acuerdos de Producción Limpia son el primer paso para definitivamente llegar a adoptar una actitud proactiva de trabajar el tema ambiental. Hace falta una gran labor de información de los diferentes beneficios que genera la producción más limpia. Los Acuerdos de Producción Limpia que se han firmado en otros países son el camino para lograr efectivamente una producción más limpia.

En este caso específico pueden servir de guía el Acuerdo Marco Producción Limpia del Sector Gran Minería, firmado en Chile el año 2000 y el Acuerdo Marco para la Sustentabilidad Integral de la Pequeña Minería, también firmado en Chile, el año 2005.

El acuerdo que se propone debe apuntar al cumplimiento de ciertos compromisos, como son, al menos: gestión integral asociada al desarrollo minero; presentación y aplicación de tecnologías limpias; herramientas prácticas para abordar el tema ambiental y de seguridad minera; capacitación en el tema de las tecnologías limpias; planes pilotos de evaluación de tecnologías limpia.

Deberán concurrir a este acuerdo por una parte, entidades del sector público con competencia en las actividades de minería, representadas por el Ministerio de Industrias Básicas y Minería (MIBAM), el Instituto de Geología y Minería (INGEOMIN), el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN), y por la otra, CVP+L, CAMIVEN, así como las gobernaciones y municipalidades involucradas una vez sea definida el área piloto.

## **1. SOBRE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

El enfoque tradicional con que se ha abordado el control de la contaminación, considera como primera opción reducir los contaminantes después de que se hayan generado por los procesos industriales, exigiendo la aplicación de tecnologías de etapa final o "fin de tubo" (end of pipe), que muchas veces alcanzan costos elevados obstaculizando la competitividad de las empresas, especialmente en el caso de las PyMES.

Lamentablemente la experiencia ha demostrado que la implementación de este tipo de política de control de la contaminación no fue exitosa por sí sola, por lo cual ya en la década de los noventa fue complementada con políticas y regulaciones del tipo "producción limpia" que introducían el concepto de incentivos a las empresas para cumplir con la regulación ambiental y el desarrollo de tecnologías que evitaran la contaminación desde sus orígenes. Este tipo de políticas permite mejorar su eficiencia productiva y por ende, su gestión ambiental.

La producción más limpia puede ser entendida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a procesos, productos y servicios para incrementar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente.

Las tecnologías limpias están orientadas tanto a reducir como a evitar la contaminación, modificando el proceso y/o el producto. La incorporación de cambios en los procesos productivos puede generar una serie de beneficios económicos a las empresas tales como la utilización más eficiente de los recursos (agua y energía), reducción de los costos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos.

En principio, la producción limpia podría entenderse como aquella que no genera residuos ni emisiones. En la realidad esto no es así. Primero, porque en el estado actual de desarrollo son escasas las tecnologías económicamente viables que logren cero emisión. Segundo, porque si bien toda emisión puede generar una externalidad negativa (o pérdida de bienestar social sin compensación), el nivel óptimo de contaminación no es igual a cero, sino aquel en que los beneficios sociales marginales de minimizar residuos, sean equivalentes a los costos sociales marginales de lograr tales reducciones.

## **2. LA PRODUCCIÓN LIMPIA EN LA INDUSTRIA MINERA**

La minería, como cualquier otra actividad humana, crea impactos negativos que pueden ser definidos como pasivos ambientales. Incluso, en el caso que los pasivos sean menores que los beneficios, estos se transfieren como costos para la sociedad actual y futura. Por lo tanto, la sustentabilidad ambiental de la minería se obtiene a través de la puesta en práctica de correctas medidas de control y recuperación ambiental. Cuando las empresas mineras no atienden adecuadamente la variable ambiental en sus proyectos de factibilidad, las entidades financieras no los promueven. Aun más, las empresas mismas tienen un interés muy práctico en esto, y es que en la aldea global no pueden darse el lujo de tener un incidente ambiental sin que instantáneamente lo sepa el mundo entero a través de los servicios globalizados de información.

La variable ambiental en el desarrollo de la empresa minera es un componente fundamental. Sólo aquellas empresas que introduzcan la variable ambiental dentro de su gestión podrán seguir en el negocio minero en el largo plazo. Luego, la introducción de esta variable ambiental dentro de la empresa se debe realizar de una forma eficiente, en que pueda representar una oportunidad de mejorar la competitividad de la empresa minera.

El tema de la producción limpia debe necesariamente reconocer las diferencias entre grandes empresas y la minería de pequeña escala. Las grandes empresas poseen los recursos económicos y humanos para implementar políticas de producción limpia, sin embargo, las otras no están

en condiciones de hacerlo, es aquí donde el Estado y las grandes empresas mineras juegan un rol relevante para difundir y apoyar a este sector de la minería.

En este contexto, Venezuela, a través del Ministerio de Industrias Básicas y Minería MIBAM y del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales MARN, debe iniciar el diseño de una política que incentive la producción limpia en el sector minero.

Desde esta perspectiva, desarrollar una política que fomente la producción limpia representa un gran reto para el sector minero, de forma de lograr que sus actividades sean efectivas, tanto productiva como ambientalmente.

Una política minera que patrocine la producción limpia en el sector minero debe incluir los siguientes aspectos:

- Prevención de la contaminación
- Transferencia tecnológica (aplicación de tecnologías limpias)
- Generación de mecanismos de incentivo
- Abandono ambientalmente sustentable de faenas mineras

La meta de la producción limpia es evitar la generación de desechos, lo cual frecuentemente reduce costos y riesgos, y a la vez, permite identificar nuevas oportunidades. Sin embargo la producción limpia no abarca únicamente lo relativo a un proceso en particular, sino que necesariamente debe incorporar, en forma integral la gestión global de la empresa minera a través de todo el ciclo de vida de un proyecto minero. Especial atención debe darse a generar un cambio de actitud de la empresa minera respecto al tema ambiental, enfocándolo desde una perspectiva de oportunidad de negocios, reducción de costos de operación y riesgo ambiental. Que no se vea como un gasto sino como una inversión.

### **3. EL SECTOR DE LOS MINERALES NO METÁLICOS VENEZUELA**

Venezuela contiene una amplia variedad de minerales. La presencia en el país de los escudos precámbricos, los complejos geosinclinales y las extensas cuencas sedimentarias, producto de los macro-eventos que caracterizan su historia geológica, han permitido la abundancia de depósitos minerales de variada naturaleza.

El sector de los minerales no metálicos, también denominados minerales industriales, constituye la columna vertebral de un importante conglomerado industrial en el país. Las industrias fabricantes de cerámicas, vidrio, cemento, pintura, aluminio, cal, fertilizantes, refractarios, productos estructurales, abrasivos, plásticos, químicos y agregados para la construcción, dependen de ellos y son procesados en el país, aunque no

siempre con los métodos y tecnologías apropiadas. Según CAMIVEN, este sector genera unos 30 mil empleos.

Sin embargo, el sector no cuenta con experiencia en las tecnologías involucradas en los procesos de exploración y producción y no existen desarrollos locales ni empresas con tecnologías propias. Por otra parte, los recursos humanos en el país carecen, en general, de la experiencia y destrezas necesarias para cubrir las necesidades de los desarrollos mineros actuales. No obstante, esta situación podría revertirse a mediano plazo, ya que el país dispone de infraestructura de formación en universidades y tecnológicos.

El marco jurídico que regula la actividad minera en el país está constituido fundamentalmente por leyes, decretos, reglamentos y resoluciones referidos directamente al sector minero, así como también por otros instrumentos legales de apoyo relacionados básicamente con el tema ambiental, fiscal, administrativo y municipal. En el caso de los minerales no metálicos son competencia de los gobiernos regionales.

Con la descentralización lograda a favor de las regiones en la Ley de Minas vigente, aprobada el 28/9/1999 y su Reglamento del 6/3/2001, los estados que saben que cuentan con recursos mineros y que los están desarrollando a través de la inversión privada han mejorado notoriamente sus economías, además de haber abierto nuevas fuentes de empleo que antes no existían. La rectorías regionales de la minería, a cargo de las gobernaciones de los estados, han creado dependencias jurídicas y técnicas con estructuras profesionales, lo cual les ha permitido desarrollar la actividad minera de manera más ordenada y controlada, a través de la respectiva permisería legal, de la inspección técnica de los procesos, y de la recaudación de los correspondientes tributos mineros.

Con las leyes mineras regionales (aunque no todos los estados cuentan con ellas todavía) se ha avanzado significativamente hacia la promoción y desarrollo de la minería no metálica en el país. El sector ha ido comprendiendo que su actividad debe realizarse de manera ambiental y socialmente responsable, trayendo una recuperación con resultados socio-económicos positivos para las regiones, dando empleo seguro y productivo para la colectividad regional y colaborando con el aseguramiento del suministro de insumos, materias primas y materiales a sus regiones y al país.

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los problemas y posibilidades asociados a la minería en pequeña escala es tema de análisis en la variada literatura minera especializada y evidencian los enormes desafíos que esta actividad implica. Por una parte se denuncia el visible daño ambiental que deja dicha actividad, pero por otro se reitera la necesidad de considerar la dimensión socioeconómica que este sector representa. Incluso, organismos vinculados a las Naciones

Unidas han propiciado largos debates e investigaciones en torno a como facilitar y procurar soluciones progresivas para este importante sector que en muchos países constituye una fuente de trabajo e ingresos económicos para grupos socialmente marginados de la economía formal.

El análisis de los desafíos a la gestión ambiental de la minería, frente a los resultados de la Conferencia de Río, enfatiza la importancia de la innovación tecnológica y la necesidad de establecer políticas para promoverlas, resaltándose la importancia del estímulo a la difusión y transferencia tecnológica. Una perspectiva similar es apuntada en el informe de la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, al señalar que *un medio más eficiente de explotar los recursos minerales de la América Latina es usar tecnología más limpia y más apropiada, y promover innovaciones tecnológicas* (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y El Caribe, 1990).

La mayoría de los efectos negativos de la minería a pequeña escala en los países en desarrollo tiene su origen en problemas relacionados con la informalidad o ilegalidad o, simplemente, en el control insuficiente del sector. En muchos casos se encuentra continuamente forzada a la ilegalidad por el ente encargado de la protección del medio ambiente, cuya capacidad técnica y administrativa no es suficiente, generando retrasos interminables en el otorgamiento de los permisos correspondientes.

Los problemas ambientales también tienen su origen en los riesgos inherentes a la minería, en las condiciones generales de este tipo de minería, en la subjetividad de los mineros y en el desconocimiento de los criterios ambientales. En un sentido general, se puede decir que la minería ocasiona diferentes impactos en los ámbitos 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. El desafío consiste en poder desarrollar una minería que pueda minimizar los impactos ambientales y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes.

Existe consenso en que una de las causas principales de los problemas mencionados obedece a la ausencia de una política minera por parte del estado venezolano. Una política que debe estar orientada hacia la aprobación de un Plan Integral de Desarrollo Minero con sujeción a las directrices y lineamientos de los diferentes Planes Estadales de Ordenamiento del Territorio y a la legislación ambiental existente.

Finalmente, debería también incorporar los lineamientos y estrategias para una producción más limpia, acorde a los postulados del desarrollo sustentable, entendido como el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras.

## **5. PRINCIPIOS DEL ACUERDO**

Los acuerdos de producción limpia son un instrumento de gestión ambiental que establece compromisos específicos para las empresas que los suscriben, y cuyo nivel de cumplimiento debe ser evaluado una vez transcurridos los lapsos de implementación de las acciones y el cumplimiento de las metas que se hubieren definido.

El acuerdo que se propone debe promover la producción limpia del sector de la minería a pequeña escala de los minerales no metálicos en la región centro-occidental del país, en un contexto de apoyo al mejoramiento de sus actividades, que le permitan enfrentar los obstáculos actuales.

Estos principios pueden resumirse así:

**Cooperación Sector Público-Sector Privado:** elemento estratégico para la coordinación, el diálogo y la acción conjunta de los actores involucrados para el diseño e implementación de una política de fomento a la producción limpia que beneficie al sector de los minerales no metálicos de la región centro-occidental del país.

**Gradualidad:** apunta hacia el desarrollo a través del tiempo de procesos de adaptación a las nuevas tecnologías limpias.

**Complementariedad con los instrumentos regulatorios de gestión ambiental:** la producción limpia tiene como base el cumplimiento de la normativa ambiental. Los acuerdos en esta materia deben buscar la mejora de las prácticas ambientales y facilitar el cumplimiento de las normas vigentes.

**Prevención de la contaminación:** tiene como objetivo reducir el riesgo de problemas ambientales derivados de la actividad. Este principio opera sobre la premisa de que la reparación de los daños ambientales una vez que éstos se han producido, es más costosa y menos eficaz que prevenirlos.

**Responsabilidad sobre sus residuos o emisiones:** el generador tiene la responsabilidad de controlar adecuadamente los residuos o emisiones derivados de sus actividades mineras.

**Utilización de las mejores tecnologías aplicables:** la producción limpia busca identificar la aplicación de las tecnologías más adecuadas, así como el uso eficiente del agua y la energía en el proceso productivo, que permitan lograr un balance entre productividad y requerimientos ambientales.

Se pretende con esta propuesta sentar las bases para la firma de un acuerdo institucional entre el CVP+L, MIBAM, CAMIVEN, las gobernaciones y alcaldías involucradas, con el objeto de incorporar a la minería de pequeña escala de los minerales no metálicos los componentes estratégicos de la producción limpia.

## **6. OBJETIVOS DEL ACUERDO**

### **Objetivo General del Acuerdo**

El objetivo general de este acuerdo sería el de facilitar el desarrollo de la minería a pequeña escala de los minerales no metálicos en la región Centro-Occidental de Venezuela, a través del mejoramiento integral de su gestión, medio ambiente, seguridad minera y laboral, convirtiéndose en una actividad sustentable y competitiva, a través de un trabajo conjunto de los organismos de regulación, fomento y fiscalización y de CAMIVEN, todo ello promovido por el CVP+L.

### **Objetivos Específicos del Acuerdo**

- a) Identificar posibilidades que permitan optimizar la coordinación de los organismos de regulación, control y fiscalización del sector de la minería de pequeña escala, considerando los requerimientos que necesita para un desarrollo sustentable;
- b) b) Comprometer la participación de los mineros en los programas de desarrollo y actividades pertinentes, destacándose los beneficios y ventajas que tendrán quienes se incorporen a estos programas de tecnologías limpias y obtengan los resultados esperados; c) A futuro, y en la medida de lo posible, desarrollar un Sistema Integrado de Certificación, reconocido por el Estado, que permita el mejoramiento continuo de la gestión en materia de medio ambiente, seguridad minera, productividad y condiciones laborales.

## **7. ACTORES COMPROMETIDOS**

Se propone la conformación de un Comité Técnico conformado por el MIBAM, MARN, FONDOIN, CAMIVEN, Gobernaciones y Alcaldías involucradas y, coordinado por el CVP+L. En función de los temas de interés común que se definan, se podrá invitar a participar a otros organismos del sector público y privado.

## **HACIA UNA SOCIEDAD DE TECNOLOGÍAS LÍMPIAS**

*R. Osiris de León*  
Academia de Ciencias de la  
República Dominicana

---

### **INTRODUCCIÓN**

El siglo XX puede ser considerado como el período de los máximos avances científicos, industriales y tecnológicos, avances que han permitido el nivel de desarrollo que caracteriza la sociedad del presente, pero que al mismo tiempo han creado serios problemas de contaminación que han crecido en la misma proporción del crecimiento industrial y del desarrollo urbano.

De ahí que el mayor problema ambiental del siglo XXI podría ser la producción, manejo y disposición final de los desechos sólidos y líquidos, tanto urbanos como industriales, ya que la producción de basuras y de efluentes servidos crece en la misma medida en que la población y las industrias crecen y en la medida en que el producto interno bruto de cada nación crece, sin que las sociedades hayan dedicado tiempo, esfuerzos y recursos al diseño, a la formulación y a la instrumentación de políticas de saneamiento ambiental ni a la introducción de tecnologías limpias que garanticen un aire más limpio, unas aguas más limpias y unos suelos más limpios.

Por eso el reto del presente es lograr que la voluntad política de los gobernantes y la buena voluntad de los gobernados sean coincidentes en cuanto a la definición y aplicación de nuevas metodologías y nuevas tecnologías que garanticen el crecimiento urbano, industrial y económico dentro de un nuevo concepto que garantice una sociedad cada vez más limpia, ya que mientras no haya voluntad de parte de todos los actores sociales, lo aquí planteado será un simple discurso cargado de buena voluntad, pero carente de toda aplicación política.

### **LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Está claro que la disposición final de los desechos sólidos urbanos se ha convertido en un grave problema ambiental y social, ya que durante muchos años los ayuntamientos han colocado las basuras en vertederos a cielo abierto donde los incendios espontáneos y los intencionales, las densas humaredas, la proliferación de insectos y ratas y los malos olores, dificultan la respiración y la vida sana para quienes habitan en los alrededores.

Las principales ciudades de la República Dominicana, tales como Santo Domingo, Santiago, Puerto Plata, Bonao, Higüey, Haina, Villa Altagracia, y muchas otras, han sufrido los efectos de una gestión

inadecuada de los desechos sólidos urbanos, lo que amerita el planteamiento de nuevas alternativas de gestión, clasificación, aprovechamiento y disposición de los desechos sólidos en función de las propiedades de cada tipo de desecho.



La ciudad de Santo Domingo produce diariamente alrededor de 3,500 toneladas de desechos sólidos, de los cuales un tercio corresponde al Distrito Nacional y dos tercios a la provincia de Santo Domingo, basuras que están integradas mayormente por vegetales descompuestos, papel, cartones, metales, plásticos, vidrios, cerámicas, textiles, maderas, etc., las que deben ser preclasificadas, recogidas de manera oportuna y efectiva, y procesadas para su máximo aprovechamiento, y las no aprovechables deberán ser dispuestas de forma correcta en un relleno sanitario que cumpla con todos los modernos estándares ambientales vigentes.

En promedio cada ciudadano produce alrededor de un kilogramo de basuras diariamente, aunque la cantidad real depende del ingreso personal, y esta permanente generación de desechos sólidos implica un grave problema de contaminación ambiental que debe ser resuelto estimulando la clasificación primaria de las basuras en los hogares, en los comercios, en las industrias, en las escuelas y en los centros de asistencia médica, a fin de minimizar la cantidad de basuras que requiere disposición final y simplificar la correcta utilización de la porción aprovechable en plantas de procesamiento de materiales orgánicos susceptibles de convertirse en fertilizantes que mejoren la productividad de los suelos agrícolas sin riesgos de contaminación del suelo y el subsuelo, en plantas de fundición de metales para su reutilización a bajo costo, en plantas de trituración de vidrios para su comercialización y reutilización y en plantas procesadoras de materiales plásticos, y todo lo que no pueda ser procesado

y aprovechado, sea entonces depositado en un relleno sanitario de sustrato arcilloso natural, a fin de garantizar que los lixiviados (líquidos contaminados) no contaminen las aguas subterráneas vecinas.

Se estima que en las basuras hay un 45% de materia orgánica (restos de comida y jardinería), un 20% de papeles y cartones, un 15% de envases metálicos y 20% de otros materiales, y estamos conscientes de que el reciclaje de las basuras puede convertirse en una próspera industria donde las comunidades de escasos recursos económicos participen como operadores y beneficiarios del proceso, mientras el ayuntamiento participe como gestor y propulsor de ese mismo proceso.

Esto generaría cientos de empleos dignos, mejoraría la calidad de vida en sectores marginados, facilitaría que miles de pequeños empresarios puedan acceder a fuentes de materias primas baratas y renovables, disminuiría en alrededor de un 75% la disposición final de las basuras, permitiría cubrir parte de los costos de recolección y transporte de las basuras y reduciría significativamente la contaminación ambiental por disposición de desechos sólidos.



**Vertedero municipal de Puerto Plata**

Para garantizar la efectividad de este plan se buscaría lograr que cada hogar o establecimiento escolar o comercial posea al menos dos botes de basura: uno para desechos secos, como papel, cartón, plásticos, botellas, tapas, hojalatas, latas, chatarras metálicas, zapatos, etc., y otro para desechos húmedos, tales como desperdicios de alimentos; y como estímulo especial se establecería que los hogares, industrias, escuelas y comercios que clasifiquen sus basuras, pagarían una tarifa equivalente al 50% de la tarifa a pagar por quienes no clasifiquen sus basuras, y donde los camiones recolectores estarían provistos de diferentes compartimientos

con acceso para cada tipo de basura, incluyendo las no clasificadas, al mismo tiempo que se establecerían puestos de contenedores metálicos pintados de colores diferentes para que la población deposite en ellos el papel y el cartón (azul), botellas de vidrio (verde), plásticos (rojo) y trozos de hojalata, aluminio y otros metales (amarillo), asignándose camiones especiales para la recogida selectiva de cada tipo de basura.

La estación municipal de recepción de basuras estaría dividida en sectores capaces de recibir y manejar cada tipo de material: metales, papeles y cartones, plásticos, vidrios, materia orgánica, etc., donde se haría una subclasificación manual y desde ahí pasaría a diferentes correas transportadoras que conducirían los materiales hasta pilas de almacenamiento y desde ahí se enviarían los materiales clasificados a pequeñas plantas procesadoras gerenciadas y operadas por cooperativas comunitarias asesoradas técnicamente.

Las basuras no aprovechables serán llevadas a los sitios arcillosos escogidos para la disposición final en la zona norte de Villa Mella, en la zona norte de El Higüero y en la zona norte de Haina, sitios que deberán ser objeto de minuciosos estudios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos, a fin de garantizar su total impermeabilidad para evitar la contaminación de las aguas subterráneas y deberán ser incluidos dentro del Plan de Ordenamiento Territorial, como sitios especializados para disposición final de basuras en forma de rellenos sanitarios.

Cada relleno sanitario deberá ser dividido en celdas construidas sobre un dren granular inclinado, capaz de coleccionar todos los lixiviados para conducirlos por gravedad o por bombeo hasta una planta de tratamiento vecina, celdas que serán cubiertas diariamente con una capa de arcilla plástica compactada, y se garantizaría la salida adecuada de los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica, a fin de aprovechar el gas metano para diferentes usos en los sectores vecinos.

Otra opción usualmente utilizada para reducir la cantidad de basura que ha de tener como destino final el relleno sanitario, es aprovechar parte importante de los desechos sólidos preclasificados para la producción de energía eléctrica, tal y como lo hacen muchas naciones industrializadas y otras en vías de desarrollo, pudiendo citarse el caso de Estados Unidos, donde hoy día hay 89 plantas generadoras de energía que operan utilizando la incineración de los desperdicios sólidos no reciclables para producir un total de 2,500 megavatios, lo que conforme a la Agencia para la Protección Ambiental (EPA), representa un 3% de la generación eléctrica total de ese país.

En la ciudad de Granada, España, se aprovecha el biogas producido durante la fermentación natural de las basuras orgánicas depositadas en los vertederos, el cual se conduce a través de tuberías hasta una pequeña central térmica que la convierte en energía eléctrica para los usos públicos.

De igual modo las modernas plantas incineradoras de basuras pueden aprovechar el vapor caliente para alimentar una pequeña turbina que genera energía eléctrica adicional a la generada con el biogas, en lo que podría definirse como una planta de ciclo combinado.

Sin embargo, el proceso de incineración debe ser administrado cuidadosamente a fin de evitar que agentes contaminantes como el PVC y afines sean incinerados y se liberen al aire dioxinas bioacumulativas, porque eso podría empañar las bondades de la producción de energía a partir de los desechos sólidos, cuyo objetivo primario no es la producción de energía sino la reducción de los volúmenes de basuras y la disminución de la severa contaminación ambiental.

### **LAS PLANTAS DE CARBÓN**

Uno de los problemas fundamentales que han estado padeciendo las sociedades modernas son las altas emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y dióxido de azufre, fruto de la utilización de combustibles fósiles que suministran de energía para el desarrollo industrial moderno, y para los diferentes medios de transporte individual y transporte masivo que utilizamos hoy día, sin que se diera mayor importancia a los altos niveles de contaminación ambiental responsables del calentamiento global y de las lluvias ácidas, ni a las emisiones tóxicas que han costado la vida a cientos de miles de personas alrededor del mundo. Sin embargo, con el incremento extraordinario de los precios del petróleo, precios que suben permanentemente y sin ningún control, los países no productores de petróleo se han visto en la necesidad de recurrir al uso de combustibles alternativos o a fuentes renovables alternativas, donde algunas son completamente limpias como la energía solar, la energía eólica y la energía hidroeléctrica, pero otras, como el carbón mineral, ameritan un uso muy racional a fin de evitar trastornos ambientales de negativas consecuencias.

Desde sus inicios el carbón ha sido visto como un combustible sucio y contaminante, pero en realidad el problema no está en el mineral sino en la falta de tecnologías que garanticen un uso limpio, porque desde el principio el ser humano puso más énfasis en su poder calorífico y descuido el desarrollo de modernas tecnologías que permitieran aprovechar el potencial energético sin contaminar el medio circundante y esa debe ser una de las principales tareas de los investigadores del presente.

En el año 1978 realizamos un estudio sobre la transformación de las plantas eléctricas de gas y fuel oil a carbón en la República Dominicana, ya que para ese entonces el costo de producción de un kilovatio/hora en una planta de gas era de 5 centavos de dólar, y eso era insostenible para el Estado y para toda la sociedad que ya sufría de diarias y largas interrupciones en el servicio eléctrico.

Los resultados obtenidos en 1978 al realizar ese análisis del sistema energético nos condujeron a las siguientes conclusiones:

- 1-La aguda crisis energética por la que actualmente atraviesa nuestro país amerita de un notable incremento en la producción de energía por parte de la C.D.E.;
- 2- Los elevados costos de combustibles con que opera la C.D.E. y el aumento geométrico de los mismos requieren de un combustible que disminuya tales costos de producción;
- 3- Las reservas carboníferas de nuestro país representan una de las salidas más viables al problema energético, pero por el momento este lugar podría ser ocupado por carbón importado;
- 4- La sustitución de las plantas de gas existentes en la C.D.E. por plantas que utilicen combustible de más bajo costo es una solución totalmente necesaria y que debe realizarse a la mayor brevedad posible;
- 5- Las grandes reservas mundiales de carbón aseguran precios aproximadamente estables para los próximos años lo que da una diferencia cada vez mayor entre éstos y los del petróleo; y
- 6- El análisis económico revela que es más factible el empleo de carbón para la producción de energía en relación al empleo de gas y fuel oil.

A principios de los años 80 la entonces Corporación Dominicana de Electricidad comenzó a pensar seriamente en la construcción de plantas térmicas capaces de utilizar carbón mineral de alto poder calorífico para producir energía eléctrica barata, y fue entonces cuando se decidió que Itabo I fuese construida con un sistema de alimentación dual que pudiese recibir carbón mineral o bunker C, a lo que siguió Itabo II construida bajo el mismo esquema operacional, y posteriormente Barahona.

Pero los diferentes intereses económicos, la falta de visión de futuro y la indiferencia ante el dispendio de los recursos del Estado, hizo que las plantas Itabo dejasen de quemar carbón, sobre la excusa de la contaminación ambiental, al tiempo que se inició un desenfrenado proceso de contratación, adquisición e instalación de turbinas de gas que dispararon hasta las nubes los costos de generación de cada kilovatio/hora, incrementando exorbitantemente el déficit en el flujo de caja de la CDE, y recrudesciendo los largos y molestos apagones, pero lo cierto es que durante los últimos 40 años los apagones han sido parte importante de la vida y parte del léxico de todos los dominicanos, y nos llevaron a tal punto de desesperación que nos obligaron a aceptar un proceso de capitalización que teóricamente nos garantizaría energía eléctrica permanente y permitiría al Gobierno desprenderse de un pesado subsidio que erosionaba sustancialmente las arcas del Estado.

Pero la receta de la capitalización no funcionó para el Gobierno, ni para el país, y la excusa ahora es que la gente pobre no paga la energía que consume y que eso crea un déficit financiero tan grande que ahora los apagones son programados y distribuidos equitativamente para disminuir parcialmente tal déficit financiero, mientras el Gobierno debe aportar un subsidio mayor al que aportaba antes de la capitalización, y ahora todo ha pasado de lo malo a lo peor, porque seguimos sin luz eléctrica, seguimos pagando una tarifa que cada día es mayor y en algunos casos se acerca a los 30 centavos de dólar por cada Kwh, el Gobierno sigue pagando un subsidio cada vez mayor y seguimos escuchando excusas que a nadie le aportan solución.

Y dentro de esa tempestad energética que hace zozobrar el barco de la esperanza de la solución a la crisis de los apagones, y ante el constante incremento de los precios del barril de petróleo, el Gobierno ha decidido caminar en la misma dirección de las recomendaciones periódicas que hemos hecho de manera pública y en cartas al Presidente, donde planteamos que la solución a la grave crisis energética es independizarnos parcialmente del petróleo para producir energía y priorizar las plantas que operan con carbón, las centrales hidroeléctricas, el aprovechamiento de la energía solar y de la energía eólica. (Periódico El Caribe, 26 de junio de 2005).

En su discurso ante la Asamblea Nacional el pasado 27 de febrero de 2006 el Presidente de la República, Dr. Leonel Fernández dijo lo siguiente: "República Dominicana, al igual que otras naciones del mundo, ha iniciado el diseño de una estrategia para ser menos dependiente de los combustibles fósiles, y más orientada hacia la promoción de fuentes alternas y renovables de energía", lo cual constituye el primer paso firme hacia una solución definitiva de la crisis energética, porque si desde el año 1978 se hubiese adoptado una política energética orientada al uso del carbón mineral de alto poder calorífico y de bajo contenido de azufre, así como a la construcción de más centrales hidroeléctricas, los apagones no estuviesen presentes en nuestra sociedad.

Naturalmente, siempre hay preocupaciones por los riesgos de contaminación ambiental fruto del mal manejo del carbón y de las cenizas producidas por la combustión del carbón mineral, cenizas que representan la fracción no combustible del carbón y que están integradas por minerales como cal (CaO), sílice (SiO<sub>2</sub>), alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnesia (MgO) y trazas de metales pesados, pero siempre que las cenizas sean dispuestas en un lugar cerrado e impermeable para evitar lixiviados que contaminen las aguas subterráneas y evitar polvos que afecten el sistema respiratorio de los vecinos, no debemos albergar temor de contaminación ambiental, porque hoy disponemos de una Ley Ambiental 64-00 que obliga a cualquier proyecto público o privado a ejecutar un Estudio de Impacto Ambiental y llevar un Plan de Manejo y Adecuación Ambiental, el cual debe estar cimentado en modernas tecnologías limpias.

## **USO ADECUADO Y CORRECTO DE LAS CENIZAS DEL CARBON**

La producción de cenizas es inevitable en el proceso de combustión del carbón mineral, Sin embargo, lo ideal es utilizar de inmediato las cenizas del carbón en la producción de cemento portland puzolánico, y ya en el pasado los productores locales de bloques tuvieron conocimientos de las propiedades puzolánicas de estas cenizas y comenzaron a utilizarlas en la fabricación de bloques para la construcción, ya que estas cenizas pueden ser adicionadas en un 15% ó en un 20% al cemento portland gris tipo I, convirtiéndose en cemento portland puzolánico, el cual es más resistente a largo plazo, más impermeable, más trabajable, mejora la plasticidad, es más resistente a los sulfatos y a las aguas agresivas y tiene un calor de hidratación mucho más bajo, lo que evita el agrietamiento producido por las reacciones exotérmicas normales en los cementos Pórtland y lo hace ideal para la construcción de presas, puentes, muelles y grandes obras de ingeniería en los cálidos climas tropicales como el nuestro.

Del mismo modo, los constructores locales de carreteras encontraron en estas cenizas un agente estabilizador ideal para las sub-bases de "caliche", ya que la reacción producida entre el carbonato de calcio contenido en el "caliche" y los aluminosilicatos contenidos en las cenizas del carbón contribuían a desarrollar una litificación parcial de la sub-base al tiempo que incrementaba extraordinariamente la plasticidad de la fracción arcillosa, lo que evitaba agrietamientos en períodos de largas sequías, y al mismo tiempo lograba dar mayor durabilidad a la vía. También estas cenizas dominicanas han sido utilizadas en el pasado para reducir la cantidad de cemento requerido en las inyecciones de lechadas recomendadas por mejorar la capacidad de carga de las áreas de fundaciones de edificaciones, especialmente cuando el suelo de la edificación está caracterizado por la presencia de múltiples micro cavernas producto de la disolución parcial de la roca caliza que caracteriza la parte sur de la ciudad de Santo Domingo.

## **ENSAYOS PARA CEMENTO PUZOLANICO**

- En interés de producir cemento puzolánico en la República Dominicana, durante los años 1988, 1989 y 1990 realizamos pruebas a gran escala en la antigua Fábrica Dominicana de Cemento, atendiendo a un requerimiento del consorcio ingenieril que comenzaba a construir las presas de Jiguey y Aguacate sobre el río Nizao.

## **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA CEMENTO PUZOLANICO EN R. D.**

- Las pruebas realizadas con puzolanas dominicanas indicaban que podíamos utilizar desde un 10% hasta un 25% de puzolanas y

obteníamos un cemento portland puzolánico de superior calidad al cemento portland normal.

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) que en enero de 1980 excluyó las cenizas del carbón de la lista de desechos peligrosos, y trece años después, de la de desechos peligrosos regulados establece que estas cenizas deben depositarse en un suelo totalmente impermeable o almacenarse herméticamente, y advierte sobre la contaminación ambiental que pueden originar si son mal manejadas, debido a que la finura de sus partículas hace que puedan ser levantadas fácilmente y transportadas por el viento, pudiendo acarrear problemas respiratorios y dermatológicos a las poblaciones cercanas, además de que su inadecuada disposición puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

#### **EL PROBLEMA DE LAS CENIZAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.**

Un ejemplo que evidencia que la contaminación ambiental proviene mayormente del mal uso de los recursos, y no de los recursos en sí mismos, está en la importación y disposición inadecuada de 80,000 toneladas de cenizas de carbón procedentes de una planta térmica que opera en Puerto Rico, volumen que fue dividido en dos partidas de 30,000 y 50,000 toneladas y lanzadas en los patios de los muelles de Manzanillo y Arroyo Barril, respectivamente, creando un escándalo nacional y una litis judicial que trasciende las fronteras dominicanas, ya que estas cenizas fueron depositadas de forma irregular, irracional y al aire libre en ambientes costeros-marinos, produciendo contaminación ambiental en las aguas marinas, en las aguas subterráneas y en el aire circundante, creando problemas respiratorios a los habitantes de esas zonas, porque la fracción fina de las cenizas se levanta con suma facilidad cada vez que el viento toca dichas cenizas, las cuales al ser tan finas penetran al sistema respiratorio y a largo plazo pueden producir silicosis, además de irritación de la piel, pero la exposición de las cenizas a las lluvias genera una lixiviación de los metales presentes, la cual contamina el suelo y el subsuelo, lo que pudo evitarse escogiendo lugares impermeables y cubiertos, o silos, como recomiendan las normativas de la EPA.



**Depósitos de rockash en Samaná**

#### **USO DE LAS CENIZAS PARA CEMENTO**

Ante el grave problema de contaminación ambiental y ante el gran escándalo nacional sugerimos de manera pública a través de la prensa nacional que la mejor forma de eliminar la contaminación ambiental que producen esas cenizas es mezclándolas con el cemento portland, en una proporción que podría oscilar entre el 10% y el 15%, para obtener cemento portland puzolánico, con lo que desaparecería el polvillo que pone en riesgo la salud de los vecinos de Samaná y Manzanillo, ya que mientras más tiempo dure ese material en esos lugares inadecuados, mayores daños ambientales estaremos provocando a las personas y al medio ambiente costero-marino. Esa recomendación fue acogida por la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales y por las principales empresas productoras de cemento pórtland.

Es fundamental tomar en cuenta que en adición al volumen de cenizas importadas existentes en Samaná y Manzanillo, el Gobierno Dominicano acaba de contratar la instalación de 1,200 megavatios a carbón, a partir de dos plantas que operarán en Manzanillo y Azua, plantas que producirán cenizas iguales a las de Itabo I, Itabo II y Barahona, todas las cuales deberán ser utilizadas en la producción de cemento puzolánico y para otros fines ingenieriles, y en caso de que haya excedentes no utilizados por las industrias cementeras ni por las obras de ingeniería,

deberán depositarse en lugares arcillosos impermeables y ser cubiertas por una capa arcillosa compactada, a fin de que podamos demostrar que la utilización adecuada de los diferentes materiales garantiza un aprovechamiento óptimo libre de contaminación.

### **PRESAS, MEDIO AMBIENTE Y ENERGIA LIMPIA**

La construcción de represas, tanto en República Dominicana, como en todas partes del mundo, ha sido motivo de múltiples controversias que han puesto en a floramiento las diferencias de criterios entre los ecologistas preservacionistas y los ambientalistas partidarios del desarrollo sostenible.

La controversia está cimentada en que el ser humano ha recibido una multiplicidad de recursos naturales y debe ser capaz de aprovecharlos sin deteriorarlos, sin contaminarlos y sin degradarlos, de forma tal que las futuras generaciones puedan disponer de esos mismos recursos en igualdad de condiciones, y eso no siempre se logra, ya que muchas veces ese mismo ser humano actúa condicionado por las necesidades y urgencias del presente y se olvida por completo del futuro, no por egoísmo generacional, sino por circunstancias sociales que no puede controlar ni mucho menos obviar. Y eso lleva al cuestionamiento de importantes obras sociales.

Y es ahí donde entra el agua que es el recurso natural más especial, ya que la estructura biológica del ser humano le obliga a depender en términos absolutos del agua dulce, la cual representa apenas el 2.8 % del agua total disponible sobre el planeta, aunque sólo puede disponer de un 0.60% presente en el subsuelo y de un 0.03% existente en fuentes superficiales, siendo estas últimas las de más fácil acceso, las de más fácil contaminación y al mismo tiempo las que más fácilmente llegan al mar si no se logra su previa captación para utilización.

Una vez que una gota de agua dulce llega al mar ya no es posible su utilización a bajo costo, al menos dentro de ese ciclo hidrológico, siendo necesario esperar a que nuevos volúmenes sean evaporados para recargar las nubes y esperar nuevas lluvias estacionales que recarguen ríos, arroyos y acuíferos, pero esa espera puede ser larga como ocurre en la actualidad, donde la sequía amenaza toda la región del Caribe, los intensos y largos fuegos consumen nuestras reservas forestales de los parques nacionales y la incertidumbre se posa sobre quienes dependen del agua para producir alimentos y para saciar la sed. Afortunadamente en nuestro país todavía nadie está muriendo de sed porque las 18 principales presas de la Rep. Dominicana almacenan 2,200 millones de metros cúbicos de agua, aportan agua potable a 3 millones de personas, irrigan 62,000 hectáreas de tierras cultivables y disponen de una capacidad de generación de 452 megavatios, que al año totalizan unos 1,000 gigavatios/hora, es decir, mil millones de kilovatios/hora sin necesidad de petróleo y sin contaminar el medio

ambiente con gases que producen efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Los ambientalistas concededores del sistema nacional de presas y sus entornos, reconocen que las presas aportan a la sociedad y al medio ambiente más beneficios que perjuicios, y ahí están los ejemplos de Valdesia, que aporta 6 metros cúbicos de agua por segundo (137 millones de galones diarios) para los que vivimos en Santo Domingo, y Tavera-Bao que aporta 4.5 metros cúbicos de agua por segundo, equivalentes a 103 millones de galones por día para las ciudades de Santiago y Moca, aunque ninguna de esas presas fue construida para suplir a dichos acueductos; y pese a que ambas presas fueron objeto de oposición y duras críticas en sus momentos constructivos iniciales.

Si los discursos de ayer hubiesen tenido éxito al oponerse a la construcción de las presas de Tavera y Valdesia en el período 1968-1976, los ambientalistas, ecologistas y ciudadanos de hoy no tendríamos de agua en Santo Domingo, Santiago y Moca, ni los agricultores de Baní, San Cristóbal y el Cibao Occidental tendrían de agua para el riego de más de 30,000 hectáreas mediante los canales Marcos A. Cabral, Nizao-Najayo y PRYN, ni tendríamos de los 204 megavatios instalados en las turbinas hidroeléctricas de Jigüey-Aguacate-Valdesia, ni de los 100 megavatios instalados en las turbinas hidroeléctricas de Tavera, sin usar petróleo caro y sin contaminar el ambiente. Como ambientalistas debemos preferir el uso del agua, el sol o el viento para generar energía eléctrica, en lugar de usar un petróleo costoso y altamente contaminante al liberar CO, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, y cuando sea necesario utilizar petróleo o carbón para producir energía eléctrica debemos hacer énfasis en el uso de tecnologías limpias que eviten todo tipo de contaminación ambiental.

De igual modo la presa de Monción fue originalmente cuestionada porque represaría las aguas del río Mao, afectaría a la flora regional y desplazaría a los campesinos de la zona, sin embargo, hoy día el acueducto de la Línea Noroeste es una realidad gracias a las aguas almacenadas en dicha presa, y en el futuro los resultados serán todavía mucho más convincentes. Por eso cada gota de agua debe ser almacenada y racionalmente administrada en períodos de sequía como los que vivimos hoy día, y por eso es fundamental invertir recursos en la construcción de represas que nos permitan almacenar los excedentes de agua de los períodos lluviosos para racionarlos en los períodos de larga sequía.

Y por eso las grandes, medianas y pequeñas naciones construyen grandes, medianas y pequeñas presas, tal y como lo ha hecho China con la construcción de 22,000 represas, y ahora construye la represa de Las Tres Gargantas, sobre el río Yangtze, siendo éste el proyecto hidroeléctrico más grande del mundo y para el cual fue necesario reubicar 10 millones de personas y hasta yacimientos arqueológicos con historia milenaria; tal y como lo ha hecho Estados Unidos al construir 6,575 presas, incluyendo la

represa Hoover, sobre el santuario geológico del Gran Cañón del río Colorado, lo que permitió el desarrollo de zonas desérticas como Las Vegas; tal y como lo ha hecho Japón al construir en su pequeño territorio 2,675 presas, tal y como lo ha hecho Brasil con Itaipú y otras mega estructuras, donde en total se han construido 594 presas; tal como lo hizo Egipto al construir la gran represa del alto Asuán, sobre el histórico río Nilo, teniendo que reubicar el famoso y milenario templo de Abu-Simbel ya que el lago de esta presa cubre unos 60,000 kilómetros cuadrados de superficie, y tal y como lo ha hecho la vecina isla de Cuba que tiene una presa en cada río.

Hoy día se construye la presa hidroeléctrica de Pinalito, la cual ha sido ideada y estudiada desde el año 1976 y es parte del mismo sistema hidroeléctrico de río Blanco, presa que aunque está dentro de un parque nacional, definido con posterioridad a la construcción de la presa de río Blanco, no se prevé que vaya a producir daños al medio ambiente, aunque se trata de un proyecto de mediana escala que ha de tener una potencia instalada de 50 Megavatios.

Y es que la función de un Parque Nacional es proteger los recursos naturales, y no hay recurso natural más importante que el agua, razón por la cual todos construimos una cisterna o instalamos un tinaco en nuestras casas urbanas porque necesitamos agua, el campesino que dispone de recursos económicos construye un aljibe para almacenar el agua de lluvia y disponer de ese recurso vital cuando hay sequía. Esa es la misma función de las presas, con la ventaja de que controlan las inundaciones, permiten que dispongamos de agua en nuestros hogares sin preguntar como se almacena en los períodos de abundancia para disponer de ella en los períodos de escasez, aportan agua para el riego de los predios agrícolas donde se producen los alimentos que consumimos cada día y nos producen energía eléctrica limpia y barata.

Dentro de ese concepto de producción de energía limpia y barata es necesario priorizar la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas en las cuencas del Alto Yaque del Norte, Alto Yaque del Sur, Alto Yuna, y Macasía-Artibonito, con financiamiento externo garantizado con la propia producción eléctrica, y diseñar un nuevo plan de expansión del sistema eléctrico nacional sustentado en fuentes energéticas no petroleras, en la protección al medio ambiente y en un crecimiento de la capacidad instalada directamente proporcional al crecimiento de la demanda nacional.

Nuestras cuencas altas están protegidas por Parques Nacionales, pero la protección no es simplemente para la preservación, sino para garantizar el desarrollo sostenible, y las presas garantizan no sólo el desarrollo sostenible de la nación, sino la protección de los mismos parques nacionales, porque ahora cuando las llamas consumen los bosques de pinos de los parques nacionales Armando Bermúdez y José del Carmen Ramírez, ha sido preciso recurrir a las aguas almacenadas en la presa de

Sabaneta para abastecer a los helicópteros que intentan sofocar las llamas que durante semanas han permanecido incontrolables y han devorado más de 100,000 tareas de verdes pinos. De nuevo las presas hicieron su aporte.

### **PREOCUPACIONES SOBRE EL FUTURO DEL AGUA**

El acelerado crecimiento de la población mundial y la creciente contaminación de las aguas superficiales, hace que los pueblos dispongan cada día de menor cantidad de agua potable, implicando altos costos de tratamiento y altos precios de comercialización, lo que en el futuro convertiría al agua potable en un bien sólo disponible al alcance de los ricos.

Durante el siglo pasado la población mundial se triplicó, mientras el consumo de agua se sextuplicó, estimándose que para el año 2025 unos 460 millones de personas vivirán en países con problemas de agua, porque los 6 mil millones de habitantes del planeta hoy utilizan el 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. Y es que aunque el 70% del planeta está cubierto por agua, de ese volumen apenas el 3% es agua dulce, pero con la limitante de que las dos terceras partes del agua dulce están congeladas en los casquetes polares, quedando disponible para el consumo solamente el 1% del total, mientras la población crece y crece.

Pero al evaluar exclusivamente las aguas dulces vemos que el 68.7% se encuentra congelada en glaciares y casquetes polares y no está disponible, el 0.26% está en los lagos, el 0.006% está en los ríos, el 0.043% está en la atmósfera y en la biomasa, y un importantísimo 30.10% está en los acuíferos subterráneos, es decir, que del total de aguas dulces disponibles, el 96% son aguas subterráneas, las cuales, en las últimas décadas, han sido sobreexplotadas y severamente contaminadas, creando gran incertidumbre sobre el futuro del agua.

Y fue esa la razón que motivó al Panel Interacadémico Mundial (Asociación Mundial de Academias de Ciencias) y a la Real Academia de Ciencias de España a convocar a un simposio de expertos que se desarrolló en la mediterránea ciudad de Alicante, España, en el período comprendido entre el 23 y el 27 de enero de 2006, evento al cual asistimos en representación de la Academia de Ciencias de la República Dominicana, y donde participaban 50 países, desde Nueva Zelanda y Australia, hasta Mongolia y Uzbekistán, incluyendo Europa, América, África, Medio Oriente y parte importante de Asia.

En este Simposio Internacional sobre el Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas, quedó claro que la inmensa mayoría de países depende en gran medida de la explotación de las aguas subterráneas, las que han sido sobreexplotadas por el crecimiento habitacional, por la agricultura, por el turismo y por la industria en general, sobreexplotación

que ha producido un acelerado abatimiento de los niveles freáticos y un extraordinario avance de la intrusión salina en las zonas costeras, principalmente en las zonas turísticas.

A esto se suma el hecho de que en Latinoamérica 100 millones de personas no tienen acceso a servicios de saneamiento, siendo la ciudad de Santo Domingo uno de los peores ejemplos, porque de los 3 millones de habitantes, apenas un 25% dispone de alcantarillado sanitario, mientras el restante 75% dispone de sus desechos personales a través de pozos filtrantes que descargan de manera directa en las mismas aguas subterráneas que diariamente extraemos para satisfacer todos nuestros requerimientos.

En la ciudad de Santo Domingo cada vez que se construye una torre, un multifamiliar, una vivienda sencilla, una urbanización o una industria, nadie se preocupa por la construcción de un alcantarillado sanitario que recoja las aguas negras y las lleve hasta una planta de tratamiento, sino que simplemente se construyen dos pozos, uno vecino del otro, y se utiliza el primero para descargar las aguas negras de los sanitarios hasta las aguas subterráneas y el segundo pozo se utiliza para extraer las mismas aguas subterráneas que acabamos de contaminar con nuestras aguas negras, y nadie dice nada, ni hace nada frente a esta gravísima contaminación de nuestro recurso natural más vital, porque cada vez que se toca este tema frente a las autoridades, la respuesta es que un alcantarillado sanitario que cubra toda la Capital costaría 1,000 millones de dólares que no están disponibles, aunque sí tendremos disponibles 1,500 millones de dólares para un pedacito de Metro que cubrirá eficazmente apenas el 3% del área total de la Capital. Es decir, que un pedacito de Metro es mucho más importante que las aguas y que la salud de las presentes y futuras generaciones, al menos así lo entiende el actual gobierno.

Pocos dominicanos saben que antes de la entrada en operación del acueducto Valdesia-Santo Domingo, el 61% del agua total que entraba a la capital era agua subterránea, y que actualmente, de los 400 millones de galones de agua que entran diariamente a la ciudad de Santo Domingo, unos 130 millones de galones proceden de los pozos existentes en Mata Mamón, Los Marenos, La Joya, La Catalina, El Naranjo, La Victoria, Los Guaricanos, río Haina y Manoguayabo, sin incluir miles de pozos privados, generalmente contaminados, y distribuidos por todos lados, contaminación que está claramente prohibida por la Ley Ambiental 64-00.

La otra grave situación es la sobreexplotación de las aguas subterráneas costeras, principalmente en Boca Chica y en Bávaro, ya que en el primero de los casos la intrusión salina ha avanzado 15 kilómetros tierra adentro, inutilizando las aguas subterráneas de esa extensa franja costera, y en el caso de Bávaro la intrusión salina por exceso de bombeo ha avanzado más de 3 kilómetros, poniendo en peligro el futuro

abastecimiento de agua potable a este importante polo turístico regional y poniendo en peligro la propia expansión del polo, porque hoy día se extrae más agua subterránea que la recarga neta recibida por el acuífero, siendo esta la causa de la intrusión salina, lo que impone una limitante para el abastecimiento de agua subterránea a los futuros proyectos turísticos de la zona.

Y cualquier ciudadano se preguntaría de manera ingenua ¿Cómo es posible que estas cosas ocurran en la era de la tecnología y del conocimiento científico? Y la respuesta es muy simple: En República Dominicana cualquier persona, cualquier industria o cualquier empresa construye un pozo donde quiere, como quiere, del diámetro que quiere, de la profundidad que quiere y del caudal que quiere, sin que ninguna autoridad competente se dé por enterada, olvidando que es indispensable comenzar a utilizar mecanismos y tecnologías limpias que garanticen el aprovechamiento racional de los recursos hidráulicos.

Estamos en la antesala de una gran crisis de abastecimiento de agua potable, donde países como Israel, España, Italia, Grecia, Turquía y Chipre han tenido que recurrir a la instalación de plantas para la desalinización del agua del mar, con un costo generalmente superior a un dólar por cada metro cúbico obtenido (264 galones), costo que se incrementará en la misma medida en que siga incrementándose el costo de la energía, lo que implicaría que el agua potable se pondría fuera del alcance de los pobres a partir de la tendencia neoliberal que establece que el agua se debe privatizar. Y eso lo debemos evitar, o al menos lo debemos regular, porque una de las conclusiones del simposio es que las aguas subterráneas constituyen una vía rápida para aliviar la pobreza y garantizar el suministro seguro de agua potable y alimentos para extensas regiones en desarrollo, sobre todo en aquellas regiones áridas o semiáridas donde la única fuente de agua disponible es el agua subterránea que se capta a través de pozos profundos, lo que nos obliga a que manejemos adecuadamente nuestras aguas.

#### **VERTIDOS ÁCIDOS EN LA MINERÍA**

Los vertidos de las aguas ácidas y cargadas de metales pesados de la presa de colas de Mejita son usuales y periódicos en la Rosario Dominicana, S.A. desde que esta empresa minera inició sus operaciones en el mes de abril del año 1975 para extraer oro y plata de un gran depósito parcialmente oxidado y parcialmente sulfuroso, sin embargo, en la última ocasión en que se trató de "justificar técnicamente la descarga controlada de 300,000 metros cúbicos de efluentes líquidos acumulados en la laguna de colas de Mejita", encontró la oposición de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, institución que a través de su comunicación SGA 324-02, de fecha 01 noviembre de 2002, ordenó la suspensión definitiva de las descargas ácidas a fin de evitar la contaminación de las aguas del río Maguaca, el cual es un importante

afluente del río Yuna, del cual dependen los principales cultivos de arroz de la región.

El "informe de justificación técnica" elaborado a solicitud de la Rosario Dominicana expresaba que "gran parte del embalse de la presa y de la presa misma se encuentra sobre roca caliza que tiene cavidades y cavernas" y que en "la parte sureste de la presa se ha documentado la presencia de varios sumideros naturales (cavernas) por los que se fugan tanto agua como colas", planteando que "estas fugas podrían estar socavando la base de presa que contiene las colas, con el consiguiente riesgo para la estabilidad de la presa".

Ante la gravedad de los planteamientos justificativos formulados por las autoridades mineras, fuimos invitados por las máximas autoridades hidráulicas y ambientales del país para que verificáramos las condiciones físicas en esta presa de tierra de 1200 metros de largo y 70 metros de altura, con paramentos de caliza recristalizada triturada a sobre tamaño.

La inspección detallada de la presa no evidenció debilidad, inestabilidad, socavación ni subsidencia a lo largo del muro, y mostró que los pequeños hundimientos, visibles en los lodos secos depositados cerca del paramento aguas arriba, no están afectando en modo alguno la estabilidad del muro, ya que por el escaso volumen perdido, inferior a 1 metro cúbico, es de suponer que estos sólidos finos, provenientes de los molinos de la mina, se han infiltrado paulatinamente en los vacíos de la escollera aguas arriba.

Otra preocupación y justificación de la Rosario Dominicana, S.A., es la salida continua de aguas cristalinas al pie de la presa de colas de Mejita, la que suponen procedente del embalse a través de una filtración en el muro de la presa, lo que ciertamente podría ser peligroso para la estabilidad, razón por la cual sugerimos muestrear estas aguas y comparar sus resultados con los de las aguas contenidas en el embalse de Mejita y en el contraembalse de Sena.

De los análisis pudimos apreciar claramente que, mientras en el lago de la presa de Mejita el pH del agua es 2.1, y mientras en el lago de la pequeña presa de Sena, localizado aguas abajo de la presa de Mejita, el pH del agua también es 2.1, las filtraciones al pie de la presa de Mejita tienen un pH de 7.5, lo que evidencia que las filtraciones al pie de la presa de Mejita no provienen de las aguas ácidas del lago, sino que proceden de un acuífero local que no está acidificado.

Del mismo modo, mientras la conductividad eléctrica en el agua del lago de la presa de Mejita tiene un valor de **4,580  $\mu\text{S}/\text{cm}$** , y mientras en el lago de la pequeña presa o contraembalse de Sena el agua tiene una conductividad eléctrica de **3,700  $\mu\text{S}/\text{cm}$** , las filtraciones al pie de la presa de Mejita tienen una conductividad eléctrica de apenas **608  $\mu\text{S}/\text{cm}$** , ratificando que se trata de aguas completamente disímiles, lo que descarta

que las filtraciones provengan del lago de la presa, sugiriendo que éstas son aguas subterráneas que emergen en este punto gracias a la alta permeabilidad del material granular grueso allí existente.

De ahí que los vertidos de las aguas ácidas acumuladas en la porción oriental de la presa de colas de Mejita no obedecieran en términos reales a una situación meteorológica extrema, ni a un peligro inminente de colapso del muro de la presa, sino que estos vertidos son parte de un tradicional e histórico programa de descargas periódicas de las aguas ácidas acumuladas en la presa de colas de Mejita; sólo que ahora existe la Ley Ambiental 64-00, promulgada el 18 de agosto del año 2000, la que en su artículo 88 faculta a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales para determinar el destino final de las aguas residuales y el tratamiento previo requerido, determinación que la Rosario no esperó.

Si estas aguas ácidas hubiesen sido previamente tratadas en el interior de la mina, recurriendo a tecnologías limpias, adicionando cal para subir el pH hasta 7 y añadiendo un agente floculante para precipitar los metales pesados como hierro, cobre y cinc, la autorización hubiese sido inmediata, no hubiésemos tenido contaminación en el río Maguaca y se hubiese evitado el escándalo público que afectó severamente la imagen de la minería dominicana. De ahí la importancia de tratar y limpiar los efluentes mineros antes de lanzarlos al medio ambiente.



**Aguas ácidas que salen constantemente desde las instalaciones de la Rosario Dominicana, S.A.**

## **LAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LA MINERÍA Y LOS CONTEXTOS SOCIALES DE SU APLICACIÓN EN IBEROAMÉRICA**

*Juan Manuel Montero Peña*  
ISMM de Moa- Cuba

---

### **INTRODUCCIÓN**

El uso de las tecnologías limpias en el sector minero constituye una urgencia de esta industria por razones que a simple vista parecen comprensibles para todos los actores interesados en el tema. En primer lugar, porque dejarían de ser competitivas ante el empuje de otras de mayor poder económico que rápidamente invadirían un mercado educado en el juego publicitario del consumo de productos ecológicos.

En segundo lugar porque hace mucho que las grandes instituciones financieras internacionales dejaron de prestar dinero y otorgar créditos a empresas dudosamente contaminantes que por esas razones pudieran verse involucradas, en sus países de origen, en conflictos sociales como consecuencia del manejo que de esta problemática realizan los grupos de presión o simplemente por acciones populares totalmente justificadas y validadas por los medios y las instituciones de poder.

Sin embargo uno de los criterios más importante para adoptar una u otra tecnología, frecuentemente no se tiene en cuenta por los tomadores de decisiones, se trata del carácter social de las tecnologías y las características de los contextos donde se aplicarán. A menudo los empresarios mineros no llegan a comprender porque una tecnología que tiene el éxito garantizado en un país determinado cuando se transfiere a otro se convierte en una fuente de contradicciones sociales.

Por todo ello el trabajo que a continuación se presenta constituye en una reflexión acerca de la dimensión tecnológica del desarrollo sustentable, la relación entre las tecnologías y el riesgo tecnológico en contextos sociales, con el objetivo de aportar al debate sobre los criterios de selección de tecnologías limpias en el sector minero. La sustentabilidad de la minería, atraviesa obligatoriamente la fase de selección de las tecnologías para concretarse, pero la tecnología es mucho más que un simple artefacto, su aplicación depende de innumerables factores a los que nos referiremos más adelante.

### **LA DIMENSIÓN TECNOLÓGICA DEL DESARROLLO SUSTENTABLE**

La dimensión tecnológica del desarrollo sustentable es la vía más importante, en nuestra opinión cuando de protección directa de los recursos naturales se trate, para el logro de la sustentabilidad. La tecnología como es conocido no es neutra, responde a un determinado nivel de desarrollo de las fuerzas productivas. Es decir, la tecnología que se

utiliza en la explotación de un recurso natural, lleva implícita la pertenencia de sus propietarios a un modo de producción determinado. Expresado de otra forma se puede asegurar que: "Las tecnologías por sí solas no proveerán soluciones suficientes a los problemas de sustentabilidad, es decir que ciencia y tecnología están enmarcadas en una estructura, contenida en un sistema global con interdependencia de las condiciones de vida, desarrollo humano, calidad de vida, desarrollo sostenible y el ambiente" (Milian, 1996:59).

La dimensión tecnológica es una relación del tipo sujeto-objeto, en la cual el sujeto lo constituye el hombre y todo el conjunto de relaciones sociales en las que se desarrolla su vida económica como ser social, presentes en él como individuo y como representante de un grupo determinado. El objeto por su parte lo constituye la naturaleza vista en dos direcciones diferentes, la primera de ellas, como aquella porción que interactúa directamente con el hombre en el proceso productivo y sobre la cual actúa una tecnología de producción específica. La segunda porción de la naturaleza a la que nos referimos no interactúa directamente con el hombre, sobre ella no se dirige trabajo humano alguno, en cambio recibe las influencias negativas de la utilización de tecnologías agresoras del medio ambiente.

Estas influencias, conocidas como impactos ambientales, expresan la lógica del desarrollo histórico de la humanidad en cada una de sus fases de evolución. Estos impactos se evalúan a partir del uso de una tecnología determinada, la cual expresa el grado de dominio del hombre sobre la naturaleza y a la vez su compromiso con esta en la misma medida que resulte sustentable o no. Para evaluar cómo una tecnología es capaz de propiciar un marco favorable para la protección de la naturaleza, es suficiente con valorar su capacidad de propiciar la creación de los espacios artificiales en la protección de los recursos naturales a saber por su nivel de generación de impactos negativos y positivos.

En esta dirección cuando se trate del problema de la selección de las tecnologías limpias es preciso analizar la problemática de la transferencia de tecnologías como un factor de innegable efecto sobre el medio ambiente en las comunidades mineras, especialmente en aquellas regiones de una rica sociodiversidad como es el caso de la América latina. La adquisición de nuevas tecnologías es una necesidad en la región por su atraso tecnológico, especialmente en la pequeña minería artesanal y en la gran minería. En este sentido no se puede olvidar el monopolio tecnológico que poseen las naciones más desarrolladas y la necesidad de capitales para generar un tipo de desarrollo endógeno en el área.

Es necesario que se vea la transferencia de tecnologías como un proceso de intercambio entre culturas, pero no de forma pasiva. Las tecnologías son portadoras de los valores, modos de vidas y rasgos de las comunidades donde fueron creadas de ahí que al ser insertadas en otro

medio necesite de un cierto período de asimilación por parte de las comunidades receptoras.

La asimilación depende de innumerables factores, pero tal vez es el más importante lo constituye la adaptación porque incluye en su análisis la problemática de la cultura como elemento decisivo de la elección tecnológica. La completa aprehensión de esta relación dialéctica facilitaría la comprensión de las causas que provocan el rechazo en las comunidades de la adquisición de nuevas tecnologías y los comportamientos dispares en su utilización en el país ofertante con relación al demandante.

Los decisores tecnológicos tienen que tener en cuenta que la asimilación de una nueva tecnología depende del factor humano y la capacidad de organización de las sociedades receptoras de adaptarse a los procesos inherentes a las tecnologías transferidas. En ello radica, en buena medida, la explicación del fracaso de la modernización tecnológica de muchas minas en la región.

Pero en Iberoamérica existen otras causas que se erigen en barreras, en ocasiones infranqueable, para asumir nuevas tecnologías, se trata de los sistemas culturales de las comunidades cercanas a las minas y que se constituyen en la mano de obra empleada en estas empresas.

La sustentabilidad tecnológica presupone un desarrollo de tipo cultural en dos direcciones. Un primer momento, se refiere al uso de tecnologías adecuadas a las condiciones socioeconómicas de una región determinada, de un país o de un recurso natural en particular. Este momento no puede desconocer las tradiciones, costumbres, estilos de vida y otros elementos socio culturales de los asentamientos humanos situados en las inmediaciones de los recursos que se van a explotar. Un segundo momento se refiere al portador de la tecnología, a su mundo cultural, a la capacidad que posea de interpretar en su justa medida las consecuencias de sus acciones y la capacitación para poner en funcionamiento las tecnologías.

Podemos afirmar que la dimensión tecnológica del desarrollo sustentable se refiere al uso de un tipo de tecnología que logre el crecimiento económico, en armonía con el medio ambiente, con el propósito de alcanzar el desarrollo humano. Este crecimiento económico se podrá alcanzar sobre la base del respeto a la identidad nacional de los países involucrados que presupone una comprensión amplia de la tecnología como resultado del desarrollo de la humanidad y excluye cualquier posibilidad de fragmentar en su análisis los diferentes contenidos multisectoriales de la ciencia y la tecnología.

El logro de la sustentabilidad ambiental a partir de la tecnología presupone el reconocimiento de que esta no es neutra y los impactos de una u otra sobre el medio ambiente responden a los intereses de los grupos implicados en su aplicación y a la evaluación previa de los riesgos

que se realizó antes de llevarla a la práctica. Desde este punto de vista la tecnología puede constituirse en un aliado insustituible para la sociedad al humanizar las actividades del hombre y contribuir a la protección de la naturaleza.

La **dimensión tecnológica** se enfoca, en este artículo, desde la perspectiva de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, o estudios CTS, como se conocen. Es decir, ver la problemática del modelo de desarrollo sustentable como una relación entre las tecnologías con las cuales el hombre actúa sobre la naturaleza, que constituyen un producto de la actividad humana, y sus impactos sobre esta y la sociedad. Analizando esta relación como un problema social, pretendemos que la tecnología sea vista como algo más que un artefacto para entenderla como sistemas, como procesos, como un valor que modifica los valores existentes y crea nuevos valores.

Esta cuestión va mucho más allá que una simple disquisición filosófica para convertirse en un problema de esencia en las relaciones sociales. El problema es saber cómo una tecnología modifica la cultura de una comunidad. Hasta dónde se pueden modificar las costumbres, los hábitos y las tradiciones comunitarias, cambiando la forma de relación del hombre con la naturaleza y con los demás miembros de la comunidad. Esta idea es posible comprenderla únicamente si se parte del hecho de que "La tecnología no es un artefacto inocuo [...] no hay duda de que está sujeta a un cierto determinismo social. La evidencia de que ella es movida por intereses sociales parece un argumento sólido para apoyar la idea de que la tecnología está socialmente moldeada" (Núñez, 1999b:43).

Es importante que la tecnología se comprenda, "[...] como una práctica social [...]" (Núñez, 1999b:61) y dentro de los intereses del concepto desarrollo sustentable como un conjunto de sistemas diseñados para cumplir una función determinada.

Esto nos facilita asimilar las relaciones tecnológicas como intercambios entre individuos y entre estos y los diferentes grupos sociales que participan en los procesos de desarrollo. Para ello es de gran utilidad valorar las dimensiones de la tecnología según A. Pacey, referidas por J. Núñez en el artículo citado anteriormente. Como una primera *dimensión* considera la técnica en la que se incluyen "[...] conocimientos, capacidades, destrezas técnicas, instrumentos, herramientas y maquinarias, recursos humanos y materiales, materias primas, productos obtenidos, desechos y residuos" (Núñez, 1999b:61). Estos elementos constituyen un referente importante para evaluar el papel de las tecnologías mineras en la consecución del desarrollo sustentable.

Al tratarse de tecnologías limpias están no pueden generar desechos tóxicos para el medio ambiente, destructores de los ecosistemas asociados a los diferentes yacimientos y a las empresas mineras y metalúrgicas. Por ello en el marco de un análisis como el que se esta

planteando sería oportuno poder definir qué se entiende por tecnologías limpias y para ello se debe tomar como referencia el criterio de los expertos y la participación de las comunidades.

La *dimensión organizativa*, en la que se incluye la “[...] política administrativa y de gestión, aspectos de mercado, economía e industria; agentes sociales: empresarios, sindicatos, cuestiones relacionadas con la actividad profesional productiva, la distribución de productos, usuarios y consumidores entre otras” (Núñez, 1999b:61), nos permite que tengamos una idea exacta de la complejidad de la tecnología y su carácter profundamente social.

Una tercera *dimensión*, la *ideológico-cultural*, en la que se incluyen las “[...] finalidades y objetivos, sistemas de valores y códigos éticos; creencias en el progreso [...]” (Núñez, 1999b:61) terminan por completar un cuadro que revela relaciones sociales complejas que pueden ofrecer una idea de cómo las tecnologías se insertan en un contexto social donde confluyen los intereses y valores de diferentes grupos sociales que apuntan, en ocasiones, en sentido inverso a la racionalidad tecnológica que ellas propugnan.

Al hablar de grupos sociales se está haciendo referencia desde las clases sociales hasta los productores, consumidores y agentes del intercambio. Los materiales implicados en los procesos socioeconómicos, los medios disponibles y los fines a desarrollar pueden ser analizados a partir de comprender las tecnologías como sistemas.

Esta visión lleva a concebir las tecnologías como procesos sociales en los que se verifican los valores que ellas portan, en interacción dialéctica con los valores de las comunidades receptoras. Es decir, los valores de una tecnología tienen un carácter histórico - concreto, depende de los valores propios y de las comunidades. Es por ello importante comprender que: “La actividad tecnológica está profundamente influida por una pluralidad de valores que son satisfechos en mayor o menor grado por las acciones tecnológicas y por sus resultados” (Echeverría, 2001a:25).

El desarrollo sustentable tiene que promover el respeto a las diferentes **identidades nacionales**. Lo que resulta sustentable en una determinada región no tiene que ser sustentable en otra al ser transferida. Este es uno de los argumentos más sólidos para afirmar que concepto propuesto por la *Comisión Brundtland* no distingue los diferentes niveles de los países, tomando como referencia las identidades nacionales, que abarcan desde el nivel de desarrollo económico hasta las diferentes formas de la conciencia social: religión, arte, cultura, entre otros.

Enfocar el intercambio del hombre con la naturaleza como una relación mediada por tecnologías que actúan en contextos sociales concretos da la posibilidad, para los intereses de este artículo insertado en el contexto de la selección de tecnologías limpias para el sector minero

metalúrgico y petrolero, de centrar la atención en las relaciones medio ambientales. Partiendo de considerar las mismas como socioentornos donde interactúan relaciones políticas, jurídicas, económicas, sociales, sociopsicológicas y ambientales.

La tecnología debe ser comprendida como prácticas sociales que involucran formas de organización social, empleo de artefactos y sistemas de gestión de recursos, integrados en sociosistemas, dentro de los cuales se producen interrelaciones, que condicionan la naturaleza de las relaciones sociales. En el caso de los complejos mineros se trata de relaciones entre los propietarios de los medios de producción, productores, comunidades residentes, gestores comunitarios, y procesos que aparecen como consecuencia de las actividades fundamentales. Tal es el caso de la gestión integrada de los derivados que compromete toda la actividad de los complejos mineros. Esto, a partir de considerar que es la continuidad de nuevas relaciones que llamaremos prácticas tecnológicas (Núñez, 1999b).

Esto presupone la idea de ver el desarrollo sustentable como un sistema de interacción socio cultural que se desarrolla en un entorno, donde las prácticas tecnológicas sirven como un medio de intercambio entre sociosistemas. "El concepto práctica tecnológica muestra con claridad el carácter de la tecnología como sistema o sociosistema. El sistema permite intercambios y comunicaciones permanentes de los diversos aspectos de la operación técnica [...] pero también de su administración, mediante el tejido de relaciones y de sus sistemas subyacentes implicados, además, el sistema envuelve el marco de representaciones y valores de los agentes del proceso. Todo esto permite reconocer que los sistemas no son autónomos, puesto que están envueltos en la vigilancia de la razón teórica y en el control de la razón práctica" (García, E., González, J. et al., 2001: 44).

Por su importancia hemos citado íntegramente este fragmento del libro "*Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*" de los autores citados porque el concepto desarrollo sustentable no puede desconocer las dimensiones que abarca la práctica tecnológica, especialmente en lo concerniente a las tecnologías limpias en su estrecha interacción con la sociedad. Todo ello, indudablemente, en un entorno de presencia mayoritaria de tecnólogos debe contribuir a un acercamiento interdisciplinar al problema de la elección tecnológica y del acercamiento a la sustentabilidad en la minería desde diferentes ciencias, incluyendo las sociales. Este constituyó el espíritu de la Declaración de Carajás, el evento que promovido por CYTED - XIII, en la ciudad de Parauapebas, Sierra de Carajás, el 28 de junio del 2002 y que inicia una participación más activa de profesionales de ramas no - mineras en el análisis de los problemas del sector.

### **ANALIZAR LA TECNOLOGÍA DE LA FORMA QUE SE PROPONE EN ESTA DIMENSIÓN Y A TRAVÉS DE LA ÓPTICA DE LA PRÁCTICA TECNOLÓGICA DEJA MUY CLARO LO SIGUIENTE**

- La tecnología no es un hecho aislado, lo cual significa que las soluciones que se presentan a los problemas del desarrollo y a los provocados por los usos irracionales de las tecnologías no son tecnológicas sino sociales.
- En los sociosistemas ocurre un intercambio permanente entre sus elementos, donde no solamente se encuentran las tecnologías, sino que además se incluyen instituciones, mercados, asociaciones de productores y algo más que eso, grupos interesados en los impactos de las tecnologías y que deben tenerse en cuenta en el momento de tomar decisiones ambientales.

Las decisiones tecnológicas están mediadas por relaciones axiológicas, es decir, por los valores de los diferentes grupos inmersos en los sociosistemas donde tienen lugar las prácticas tecnológicas. El aspecto *cultural e ideológico* entra a ser considerado como una dimensión decisiva de la práctica tecnológica y consecuentemente de los modelos de proyectos sustentables. En este proceso un lugar esencial le corresponde al problema del riesgo tecnológico.

### **LA GESTIÓN DE RIESGOS EN LAS EMPRESAS MINERAS**

El problema del riesgo tecnológico esta asociado al desarrollo de la tecnología y su introducción en los sistemas productivos, así como la percepción social de los diferentes actores sociales involucrados en los procesos sociotécnicos. Este es un problema que alcanza su mayor repercusión mundial en los años 60 como consecuencia de los riesgos que comenzaron a evidenciar, la aplicación en sistemas abiertos de las tecnologías aparecidas como consecuencia de los nuevos desarrollos experimentados por las ciencias. Hoy en día este problema ha alcanzado mayor dimensión a partir de los riesgos que van desde la energía nuclear hasta los alimentos transgénicos (López & Luján, 2001).

El concepto de riesgo fue introducido en 1986 por el sociólogo alemán Ulrich Beck con el propósito de caracterizar un nuevo tipo de sociedad invadida por los riesgos introducidos por las tecnologías y por la aparición de nuevas prácticas tecnológicas y de toma de decisiones administrativas y políticas vinculadas con lo que se conoce como la administración del riesgo Este es un asunto que pasa por la percepción pública de lo cual nos ocuparemos más adelante.

La **Society for Risk Analysis** define el riesgo como "el potencial para la realización de consecuencias no deseadas, adversas para la vida humana, la salud, la propiedad y el medio ambiente" (Society for Risk Analysis, 2003). Este concepto define la interrelación entre nuestras

acciones y las posibles consecuencias de las mismas con el propósito de evitar efectos no deseados sobre los diferentes elementos que conforman el medio ambiente. Esto significa que es posible determinar con antelación, conociendo profundamente las características de los procesos productivos, el curso que seguirán los mismos. Es decir, el riesgo es calculable en una aproximación bastante cercana a la realidad, o al menos la posibilidad de que ocurran acciones indeseables se puede conocer previamente.

El análisis del riesgo se debe tener en cuenta como una herramienta de análisis político que tiene como punto de partida para la toma de decisiones la información científica que un momento determinado poseen los decisores políticos. De ahí que podamos afirmar que la toma de decisiones tiene su fundamento en un proceso objetivo avalado por informaciones científicas (Rodríguez, 2001).

En el caso de la minería se puede afirmar que esta es una actividad donde existe riesgo para todos los elementos que conforman el medio ambiente, es decir para los ecosistemas y los sociosistemas. Estos riesgos se pueden determinar desde el inicio de las exploraciones hasta la generación de los residuales en los diferentes procesos productivos, lo que debe constituir una variable en el momento de seleccionar las tecnologías que se aplicarán en un yacimiento próximo a explotarse.

El *análisis del riesgo* según el autor referenciado *puede dividirse en dos etapas*, bien diferenciadas una de otra y que puede aportar un conocimiento de gran utilidad en la elaboración de indicadores de sustentabilidad.

La *primera etapa* a la que hace referencia este autor es la **evaluación del riesgo** la cual a su vez la divide en tres momentos fundamentales que se deben tener en cuenta en todo lo relacionado con la ocurrencia de riesgos. En primer lugar; **la identificación del riesgo**: donde se identifican todas las sustancias o prácticas tecnológicas que puedan resultar peligrosas para los seres humanos, las diferentes especies de animales y los demás elementos que forman el medio ambiente. En este nivel se trata de identificar todas las posibilidades de que ocurran accidentes y sus posibles consecuencias. En el caso concreto de la minería se deben identificar los riesgos en cada una de las etapas por las que atraviesa esta actividad en las cuales, por sus características, existe la posibilidad, de que por los riesgos que se producen en las operaciones, puedan ocurrir diferentes accidentes.

En segundo lugar; **la estimación del riesgo** que es la probabilidad de la ocurrencia del riesgo identificado y su severidad. Estamos hablando del diseño de métodos analíticos y modelos matemáticos para estimar la probabilidad de cada consecuencia y la magnitud del efecto asociado con la misma.

En tercer lugar; nos encontramos con la problemática de **la valoración del riesgo** donde se establece hasta dónde un riesgo es aceptable o no por la sociedad. En este caso se establecen comparaciones con riesgos ya aceptados de antemano y se calculan los posibles costos y beneficios asociados a los nuevos riesgos para determinar la idoneidad o no de aceptar los mismos (Rodríguez, 2001). En el caso de la minería no existen estudios conclusivos de valoraciones de riesgos a pesar de existir la posibilidad real de emprender investigaciones serias que permitan conocer con bastante cercanía a la realidad la posibilidad de la ocurrencia de accidentes como consecuencia de los riesgos presentes en las diferentes etapas de la minería, a partir de una adecuada identificación, estimación y valoración de los mismos. En Cuba gracias a una política dirigida a conocer el potencial minero del país es posible conocer, aún antes de aprobarse un proyecto, el riesgo que este representa para el medio ambiente, experiencia esta que se puede llevar a otros países, tomando como referencia la idea defendida en el marco de este artículo que la selección de una tecnología o un estudio de riesgo debe producirse en el contexto.

La *segunda etapa* es definida como **la gestión del riesgo** en la cual se establecen las políticas necesarias con el propósito de regular, prohibir, fijar impuestos especiales sobre el riesgo que es previamente conocido y calculado. El asunto en cuestión se relaciona con que los gestores del riesgo se encarguen de hacer cumplir, con los medios de que dispone la sociedad; especialmente a través de la puesta en práctica de leyes rigurosas para el desarrollo de las operaciones productivas; científicas y sociales riesgosas, los estándares de aceptabilidad fijados en pasos anteriores.

La gestión del riesgo, en sentido general se ocupa de lo que podemos y deseamos hacer con los riesgos, a partir del conocimiento objetivo de los mismos y sin dejar de tener en cuenta las condiciones sociohistóricas del desarrollo de la sociedad donde se produzcan los procesos productivos riesgosos, en los que puedan ocurrir accidentes. Es decir, la cuestión es mitigar, eliminar o adaptarnos a los riesgos, pero todo ello depende de un nivel determinado del desarrollo de la ciencia y la tecnología en el momento en que se producen dichas acciones de riesgos. El conocimiento que se requiere para tratar el riesgo tiene que estar avalado por la posesión de tecnologías adecuadas que permitan su gestión y para ello se precisa de socio sistemas preparados para enfrentar los retos que dichos procesos imponen. Esta situación, que es un momento del logro de la sustentabilidad en la minería depende de factores abordados en este artículo, entre otros, que obligatoriamente transitan a través del prisma de la tecnología. No todas las sociedades están en condiciones de encarar los retos tecnológicos del enfrentamiento de los riesgos de las diferentes actividades económicas y en ello mucho depende de las tecnologías limpias.

Todo ello depende de la posición que adoptemos ante el planteamiento de los modelos de desarrollos económicos y la concepción misma de estos. Si partimos de considerar la sociedad como un entramado social donde interactúan elementos sociales, económicos, políticos, ambientales y ecológicos, es decir un sistema de interacción entre ecosistemas y sociosistemas tendremos que decir que la gestión de los riesgos depende de la participación de todas las partes del sistema donde el elemento mediador es la tecnología.

### **CONCLUSIONES**

- No existe la menor duda acerca del carácter social de las tecnologías y la relación directa existente entre los contextos socio –culturales y la posibilidad de elegir tecnologías limpias para el sector minero.
- La transferencia de tecnologías constituye una opción viable en el contexto de Iberoamérica como forma de expandir el empleo de tecnologías limpias, sin embargo ella se desarrollo en el contexto de complejas relaciones socio – culturales que de no tenerse en cuenta se convierten en barreras para su aplicación.
- En el marco de un evento multidisciplinario y multinacional como las "Jornadas iberoamericanas sobre "Tecnologías limpias en las industrias extractivas (minero-metalúrgica y petrolera)", se deben sentar las bases para la formación de un Equipo de Investigadores que defina desde el punto de vista teórico, teniendo en cuenta todas las dimensiones de la sustentabilidad qué entender por tecnologías limpias.
- Es imprescindible establecer la relación existente entre el concepto tecnologías limpias y riesgo tecnológico si realmente se desea promover un proceso participativo en torno a la adopción del tipo de tecnologías que promueve este evento.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Echeverría, J. Teletecnología, espacios de interacción y valores. En: López, J. A. et al. Temas de Iberoamérica. Filosofía de la Tecnología. España: OEI, 2001. p.15-29.
- García, E., González, J. Et al. Ciencia, Tecnología Sociedad: una aproximación onceptual. España: Organización de Estados Iberoamericanos, 2001. 168 p.
- López, J. A.; Luján, J.L. Hacia un nuevo contrato social en la ciencia: evaluación del riesgo en contexto social. En: López, J. A., Sánchez, J. M. Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura en el cambio del nuevo siglo. España: Biblioteca Nueva, 2001. p.135-153

Milian Z. Ecología versus desarrollo sostenible. En: Fung, T. Ecología y Sociedad: Estudios. Cuba: Edit. CENIC, 1996. p.45-68

Núñez, J. La ciencia y la tecnología como procesos sociales: lo que la educación científica no debería olvidar. La Habana: Editorial Félix Varela, 1999. 245p.

Rodríguez, H. Cumple su promesa la evaluación de riesgo? En: Ibarra, A., López, J. A. Desafíos y tensiones culturales en ciencia, Tecnología y Sociedad. España: Biblioteca Nueva, 2001. p.149-165

**MANEJO DE DESECHOS EN OPERACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO,  
TECNOLOGIA LIMPIA EN EMPRESA MINERA INTI RAYMI S.A.  
ORURO – BOLIVIA**

*Marwin Columba C.*  
Superintendente Control Ambiental  
Empresa Minera Inti Raymi S.A.  
Bolivia

---

## **1. INTRODUCCION**

En las operaciones mineras de la Empresa Minera Inti Raymi S.A. que se desarrollan en dos minas a cielo abierto en el Departamento de Oruro, denominadas Kori Kollo y Kori Chaca para la explotación de minerales aurífero- argentíferos, se desarrollan trabajos con métodos de tecnología moderna, dirigidos a optimizar la recuperación del oro y la plata, enfatizar en la seguridad industrial, precautelar las relaciones con la comunidad y minimizar los impactos ambientales evitando la contaminación del Medio Ambiente.

Los procesos de recuperación metalúrgica, se realizaron en circuito abierto con descarga cero al Medio ambiente, evitando así cualquier tipo de contaminación potencial que podría producirse al agua, suelo atmósfera en la vecindad de las comunidades vecinas.

Lo cual para una industria minera, constituye un ejemplo de tecnología limpia dentro del rubro de la industria extractiva, ya que no contamina ni aguas, ni suelo o atmósfera.

## **2. INSTALACIONES**

Las instalaciones principales de la operación minera, han incluido o incluyen:

- Tajos a cielo abierto (open pits)
- Planta de tratamiento para minerales sulfurosos
- Planta de lixiviación
- Presa de colas
- Depósitos de desmonte mina
- Lagunas de evaporación

### **2.1. Tajos a cielo abierto**

La explotación minera se realiza a cielo abierto, minando bancos de 8 m. en Kori Kollo y de 6. m en Kori Chaca, utilizando ANFO como explosivo.

Antiguamente en Kori Kollo se explotaron minerales oxidados y con sulfuros, actualmente se explotan solo minerales oxidados, los cuales luego de ser minados proporcionan mineral que sin triturar tal como sale de la mina (run of mine), son dispuestos en la plataforma de lixiviación para su procesamiento metalúrgico.

Al cierre los tajos abiertos están quedando inundados con aguas de origen fluvial objeto de dejar lagos ambientalmente aceptables y aptos para la vida acuática, eliminando en ellos el peligro de formación de agua ácidas.

## **2.2. Planta de Recuperación Metalúrgica**

A partir de 1992, como consecuencia del agotamiento de reservas de minerales oxidados, se pasó a la explotación de minerales conteniendo sulfuros, durante un periodo que duró hasta 1992, debiendo para ello instalar una planta para recuperación metalúrgica en tanques con soluciones aplicadas por agitación.

Para el tratamiento de sulfuros, hasta fines del año 2003 se trabajó con la llamada Planta de Sulfuros, para la lixiviación de minerales en tanques (CIC), aplicando al mineral triturado a malla 200 mesh soluciones cianuradas, dirigidas a disolver el oro y la plata. El proceso utiliza asimismo carbón poroso para la recuperación de los metales preciosos y métodos de electrodeposición para producir lodos catódicos, los cuales a su vez son pasados a un horno de fundición, para finalmente llegar hasta la producción de barras de doré, que a la fecha son el producto final para exportación.

Para el proceso de recuperación metalúrgica, se aplican soluciones cianuradas de baja concentración, con valores de 100 a 200 mg/L, en instalaciones de recuperación metalúrgica por procesos químicos, funcionando en circuito cerrado con descarga cero.

## **2.3. Plataformas de Lixiviación**

Antiguamente en plataformas dinámicas de lixiviación con la aplicación del método Merrill Crowe que incluía precipitación con polvo de zinc, se producían concentrados de mineral para exportación con contenidos de oro y plata, continuando este proceso desde 1985 al 1992.

Actualmente, para el tratamiento de minerales oxidados el método de recuperación metalúrgica, con aplicación de soluciones de cianuro de sodio, es de la lixiviación en plataformas permanentes, que fueron construidas sobre una cama de arcilla impermeable compactada de 0.30 cm y luego membrana sintética 80 mil que garantiza la impermeabilidad de la instalación y por tanto elimina cualquier potencial de contaminación ambiental o de pérdida de solución enriquecida con oro y plata.

Las piscinas de solución además de la cama basal de arcilla compactada, están recubiertas en por doble capa de revestimiento de membrana sintética de 80 mil, garantizando aún más su impermeabilidad, para la instalación donde se concentran las soluciones cianuradas.

Las medidas tomadas para evitar cualquier contaminación potencial por el uso de cianuro en el Proceso metalúrgico hacen que el proceso utilizado pueda ser catalogado como de tecnología limpia, en uso dentro del sistema que utiliza sistemas modernos de tecnología de punta equiparables a cualquier operación minera similar operando en un país desarrollado del hemisferio Norte.

#### **2.4. Manejo de Desechos**

Como resultado de las operaciones mineras, se generan asimismo una serie de desechos que, conforme al concepto del uso de tecnología limpia en las industrias extractivas, reciben un manejo adecuado para durante su generación, transporte y disposición final, evitando que ellos puedan constituir fuentes potenciales de contaminación hacia el Medio Ambiente en el entorno que rodea la operación minera.

Entre los desechos generados se tienen los siguientes:

##### **❑ Desmontes de mina**

El mayor volumen está evidentemente constituido por el material de desmonte mina, cuyo potencial de contaminación es el de generación ácida con liberación de metales, en el caso de contener minerales con sulfuros reactivos a los procesos de oxidación natural. Esto ha sido controlado en los depósitos de desmonte mediante técnicas de encapsulación con roca oxidada, evitando el contacto directo con el oxígeno atmosférico y las aguas de precipitación pluvial.

##### **❑ Colas de la planta de lixiviación**

Las colas con contenido de minerales sulfurosos generadas durante el procesamiento metalúrgico en circuito cerrado para el tratamiento de los minerales extraídos de la parte inferior del depósito minero del tajo Kori Kollo ahora cerrado y restaurado hasta formar un lago con características ambientales aceptables, han sido depositadas en una instalación cerrada expresamente construida en la denominada Presa de colas, donde han quedado en condiciones química y físicamente aceptables, evitando cualquier contaminación al entorno por soluciones cianuradas o por generación ácida.

##### **❑ Manejo de Materiales Desechados**

Entre el conjunto de materiales varios desechados, se tienen:

- Envases de aerosoles

Que son recolectados de todas las áreas generadoras y luego procesados mediante perforación de los envases, recolección de su contenido y despresurización de envases, para luego ser las latas recién ser dispuestas como basura común.

- Bolsas de Nitrato de Amonio

El contratista de voladuras, generador de bolsas de nitrato de amonio y otros, no debe dejar desechos en la operación, debe respetar los procedimientos y ser responsable del manejo de ellos para su disposición final no permitiendo su acumulación excesiva

- Anticongelantes

El generador de anticongelantes y mezclas con aguas, tiene la obligación de recolectar todos los líquidos en turriles herméticamente cerrados e identificados. Posteriormente, el material descartado será dispuesto en el sector de biodegradación de aceites (Landfarm).

- Turriles usados

Turriles vacíos para descarte son recogidos y almacenados en un sitio asignado dentro del área del generador en forma horizontal para no acumular aguas de lluvia, turriles con contenido serán mantenidos verticales y bien tapados para evitar derrames. La Fundación Inti Raymi, es responsable de su comercialización, a objeto de lograr fondos para sus programas de ayuda social.

- Baterías

Baterías usadas serán almacenadas en un solo sitio asignado dentro los talleres, cuidando que estén protegidos de posibles golpes y por derrame de líquidos. El generador tiene la obligación de drenar todas las baterías, almacenando el líquido en un turril herméticamente cerrado. Posteriormente las baterías son también comercializadas para reciclaje a través de la Fundación Inti Raymi.

- Copelas y crisoles

Copelas y crisoles que han sido usados en laboratorios, so almacenadas en la parte posterior de laboratorios, en envases con identificación clara, los cuales serán llenados a un 75% de su capacidad. Un día a la semana los envases con copelas son trasladadas al sector asignado en pilas de lixiviación.

- Cajas de cianuro y paletas

El generador de cajones vacíos (Planta) los traslada diariamente hasta los sitios asignados de disposición final, en el sector de incineración, donde se procede a incineración controlada.

Todos los despachos de cajones por parte de Planta son registrados en el libro de control de Planta y libro de control de ingreso de cajones en Control Ambiental.

- Bolsas de cianuro

La bolsas de envases de cianuro no pueden ser reutilizadas, todas deben ser dispuestas para incineración.

- Filtros de aire

Serán almacenados en sitios asignados en cada taller en cajones específicos, los cuales son recogidos por el camión de desechos para su disposición final en el sitio asignado dentro del depósito de desechos.

- Contenedores vacíos de laboratorio

Serán recogidos de laboratorio para su disposición final, son enterrados en cajones en caso ser de vidrio y luego tapados con carga de estéril. Envases plásticos (bidones) para su reutilización con otros productos que no sean reactivos químicos, pueden ser lavados por personal de Ambiental, verificando la calidad del envase antes de nuevamente salir para el re-uso.

- Solventes de laboratorio (volátiles)

Laboratorios de Inti Raymi, generan solventes en unos 75 litros por mes, cuyos restos son almacenados en bidones, para su disposición en el Landfarm, para su evaporación dentro de turriles abiertos.

- Químicos de laboratorio

Laboratorios de IRSA, generan un volumen aproximado de 5 kilogramos por mes. La mayoría de los químicos son consumidos y desechados al sistema de drenaje que diluido con las aguas servidas eran dispuestos en la Presa de Colas, muy pronto se contará con un planta de tratamiento de aguas servidas.

Los disolventes orgánicos (MIBK) son almacenados para su traslado al sector de depósito de evaporación.

- Cal y desechos de cal

Los desechos de cal son trasladados a un sector de la Presa de Colas o Plataformas de Lixiviación, en razón a que ellos son útiles para el control del potencial de drenaje ácido.

- Aceites y mezclas de aceite con agua

Los aceites usados son acumulados y luego vendidos a recicladores por la Fundación Inti Raymi, para recaudar fondos útiles para su campaña de asistencia social.

Aguas con aceites mezclados, son trasladadas a biodegradación.

- Filtros de aceite

Filtros de aceite son recolectados y drenados en charolas especiales, luego son depositados en contenedores con aislamiento para su disposición en el botadero de desechos peligrosos, luego de su estabilización con concreto.

- Suelos contaminados con aceites y sedimentos con aceites

Suelos contaminados con aceites a consecuencia de derrames, serán recogidos por el propio generador. Limpiando la tierra debe hasta la profundidad donde visualmente no contenga rastros de aceite. Estos materiales son trasladados a biodegradación.

- Pinturas y thinners

Latas vacías de pintura y thinner no pueden ser manejadas como basura convencional salvo caso que estas contengan pintura seca. En caso de quedar líquidos, los contenedores deben ser estabilizados previo a su descarte final en el botadero.

Para thinner, se tiene asignado un sitio para evaporación, evitando el ingreso de aguas de lluvia.

- Restos de fierros (chatarra)

Los restos de hierro por trabajos de mantenimiento, construcción y reemplazo de partes, son acumulados en contenedores dedicados a ello. Aptos para levantar manualmente en unos casos y para ser recogidos con la ayuda de grúas o montacargas conforme corresponda al caso. La chatarra por reciclable es luego comercializada.

- Llantas

Las llantas usadas son clasificadas por tamaño y trasladadas a depósitos evitando su excesiva acumulación en los sitios próximos a talleres. Su disposición final es en un sitio adecuado dentro del relleno sanitario.

- Aguas servidas

Aguas servidas del Campamento Titina y de las áreas de oficinas y talleres han estado siendo controladas por en lagunas de oxidación, actualmente se está cambiando el sistema utilizando Plantas de Tratamiento por aereación y luego clorinación antes de su descarga al Medio Ambiente.

- Residuos sólidos

Dentro de los residuos sólidos se considera básicamente, la basura común será muy pronto tratada en un relleno sanitario local acondicionado para tal fin en la mina Kori Kollo.

Para la mina Kori Chaca cerca de Oruro se cuenta con los servicios de la concesionaria de traslado de basuras EMAO.

### **3. MANEJO DE LANDFARM**

El sitio para biodegradación de aguas con aceites y suelos contaminados con hidrocarburos, consiste en una instalación con piso de arcilla y membrana sintética, acondicionado para tal fin, donde los hidrocarburos son volatilizados y luego encapsulados debidamente para evitar su difusión en el entorno adyacente evitando contaminar el Medio Ambiente.

### **4. DERRAMES**

Cuando ocurren derrames de cualquier tipo, estos son atendidos inmediatamente y los productos conforme correspondan son trasladados a depósitos temporales y luego para su disposición final, conforme al Procedimiento de Derrames, debiendo ser reportados a Control Ambiental de forma inmediata, utilizando un formulario existente para el efecto y si el caso amerita, en forma inmediata vía radio o teléfono.

### **5. RECOLECCION DE DESECHOS**

Para la recolección rutinaria de desechos se cuenta con el servicio de carros basureros, que conforme a rutinas establecidas recogen la basura de la operación minera y de los pueblos adyacentes, dentro de un programa de ayuda social, conforme a un rol establecido semanalmente para el recojo de basura común.

#### **5.1. Recolección no rutinaria de desechos**

Para la recolección en casos especiales como ser escombros, generación extra de desechos, materiales especiales o recibidos en mayor cantidad a la habitual y otros que sobrepasen la capacidad del recojo rutinario, se desarrolla una programación especial.

### **6. DOCUMENTACIÓN**

Para el manejo de desechos, se mantiene documentación de control con Notas de Embarque, Formulario de Autorización salida de Materiales y la Nota de despacho y recepción de desechos

Los registros se archivan con copia de la información generada para revisión y cruce de información posterior.

### **7. INSPECCIONES**

Conforme a un plan mensual de inspecciones, Control Ambiental revisa, condiciones de equipo de primeros auxilios y emergencia (en coordinación con Medicina del trabajo y Seguridad industrial), envases con contenidos si se encuentran deteriorados o volteados, signos potenciales de incendios, condiciones inseguras, orden y limpieza.

## **8. MONITOREO**

El control de las condiciones de las instalaciones se realiza mediante monitoreo, incluyendo toma de muestras, medición de niveles y parámetros de campo, objeto controlar la efectividad de medidas de prevención tomadas y en su caso tomar medidas oportunas de remediación, la información se mantiene en registros computarizados debidamente actualizados.

## **9. ENTRENAMIENTO DE PERSONAL**

Para lograr un manejo adecuado de medidas de prevención tomadas dentro la política de tecnología limpia en la industria minera o extractiva en operaciones a cielo abierto es importante contar con personal calificado, en tal sentido para el personal propio y de contratistas, se ejecutan y mantienen programas de entrenamiento mediante charlas internas en las diferentes secciones, donde el personal está obligado de realizar charlas de actualización sobre procedimientos de manejo de desechos y en relación al uso correcto de instalaciones y de los depósitos, para su manejo y la disposición de desechos, uso de formularios y en conformidad con el Plan de Manejo de Desechos.

# **Capítulo 3**

**Indicadores de Sustentabilidade e o  
Ordenamento Territorial  
Indicadores de Sostenibilidad y  
Ordenamiento Territorial**

---

## **PORTUGAL: A INDÚSTRIA EXTRACTIVA A CAMINHO DE UMA ECONOMIA DOS GEORRECURSOS**

*Luís Rodrigues da Costa,  
Eng.º. de Minas\*  
Portugal*

---

If you can not harvest it you must dig it  
Anónimo

### **INTRODUÇÃO**

A indústria extractiva, no plano mundial, tem sofrido profundas alterações das suas características. Destas realçamos a abertura de novos espaços à prospecção e exploração mineira, consequência do processo de globalização, a entrada em produção de novos jazigos de classe mundial, com muito baixos custos de produção, e a deslocação generalizada da produção dos minérios metálicos dos tradicionais países mineiros (caso do Canadá, da Austrália e dos Estados Unidos) para novos países (com realce para a América Latina), consequência da dificuldade de integração nos processos de produção das exigências ambientais nos países mais desenvolvidos e da crescente integração vertical das indústrias do países que detêm as matérias-primas.

Nos países mineiros tradicionais, a opinião pública, por efeito de práticas do passado e da existência de importante passivo ambiental de minas abandonadas, tem vindo a tomar uma posição crescentemente desfavorável à indústria. Na Europa, onde a actividade mineira se desenvolveu durante séculos, este processo atingiu mesmo formas radicais e foi acolhido pelos decisores políticos ("policy-makers") e integrado nas políticas públicas, com base na convicção da facilidade de acesso aos recursos - depois do susto proveniente da divulgação das teses do Clube de Roma!-, o que levou ao abandono de qualquer preocupação de segurança de abastecimento, limitando-se à questão do impacte social de encerramento paulatino das grandes minas e, principalmente, das principais bacias carboníferas<sup>1</sup>. Pode afirmar-se que as questões de segurança de abastecimento se encontram reduzidas ao petróleo e gás natural. Os acontecimentos dos últimos anos e a grande turbulência geopolítica que lhe está associada têm realçado a sua importância e mesmo condicionado muito do debate sobre a problemática dos recursos minerais energéticos.

---

\* Ex-Presidente do Instituto Geológico e Mineiro de Portugal (1995-2003). Assessor do Director-Geral de Geologia e Energia.

<sup>1</sup> Costa, L.R., 1999, "O sector mineiro metálico em Portugal, nos anos 90, e perspectivas de evolução futura", 1º. Colóquio: Jazigos minerais metálicos de Portugal, Academia das Ciências, Lisboa, Outubro 1999 e publicado in Boletim de Minas, vol.38, nº. 1 (2001).

Em contraponto do que descrevemos para os minérios metálicos e energéticos - no fundo, a acepção clássica da indústria mineira -, os minerais não metálicos e as rochas industriais apresentaram um notável crescimento económico, constituindo elemento primeiro de fileiras produtivas de grande relevância no tecido produtivo industrial da União Europeia<sup>2</sup>. São exemplo disto as indústrias de cerâmica, das rochas ornamentais, do cimento, do vidro, do papel, bem como de sectores mais sofisticados como o das cargas minerais, dos corantes, das tintas, etc.

As características que referimos - deslocalização e afirmação dos valores ambientais - levou a uma radical alteração na envolvente da actividade que evoluiu de um paradigma de abastecimento para o da sustentabilidade.

O "Velho" Paradigma do Abastecimento	O "Novo" Paradigma da Sustentabilidade
<ul style="list-style-type: none"><li>mercado comandado pela oferta ("supply driven")</li><li>satisfação de mercados locais ou regionais</li><li>competitividade pelos custos de produção</li><li>inovação na prospecção, extracção e processamento</li><li>controlo ambiental com recurso a tecnologias de fim de linha</li><li>abandono não planeado dos locais de extracção</li><li>projecto mineiro centrado na fase de exploração</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>mercado comandado pela procura ("demand driven")</li><li>mercados crescentemente globalizados</li><li>competitividade pela especialização dos produtos e valor acrescentado</li><li>inovação nos produtos</li><li>consideração dos impactes ambientais e sociais, numa perspectiva integral</li><li>integração da qualidade ambiental nos métodos e processos operativos</li><li>projecto mineiro abrangendo todo o ciclo de vida do sítio da exploração mineira</li><li>recuperação dos locais de extracção</li><li>actividade económica na fase post-mina (eventual)</li></ul>

A evolução da indústria extractiva em Portugal teria que, necessariamente, acompanhar as mesmas tendências, dado a integração europeia do País e a evolução do seu modelo económico. Esta tendência não poderia, contudo, deixar de ser condicionada pela natureza dos recursos minerais que ocorrem no território e pela capacidade tecnológica, própria ou por transferência de tecnologia, para acrescentar valor às matérias-primas nacionais. Estamos, afinal, a confirmar a adesão ao modelo de Bristow como tivemos oportunidade de exemplificar em texto anterior<sup>3</sup>. Assistiu-se, pois, à evolução "natural" de estrutura da produção embora perturbada, no início dos anos 90, pelo impacte desse acontecimento singular que foi o arranque da produção em Neves-Corvo e

---

<sup>2</sup> Em meados dos anos noventa estimava-se em 20 000 milhões de euros o valor da produção destes subsectores, enquanto os sectores industriais a jusante e deles dependentes representavam 9% do PIB da UE.

<sup>3</sup> Costa, L.R., 1997, "Da indústria mineira à Geo-indústria: uma alteração estrutural profunda", *Economia & Prospectiva*, Vol. I, nº 3, e *Boletim de Minas*, vol.35, nº. 1 (1998).

a “bonanza” na cotação da generalidade dos metais, nos meados da corrente década. Esta evolução está bem exemplificada no quadro seguinte. Por esta razão a designação de indústria mineira foi sendo substituída por indústria mineral.

**Indústria Extractiva  
Evolução da estrutura do valor da produção  
(% do total)**

	1980	1990	2000	2004
ENERGÉTICOS	9,4	2,4	0,1	0,0
METÁLICOS	23,4	42,2	16,6	25,3
NÃO METÁLICOS	67,2	55,4	83,3	74,7
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: IGM/DGGE

Nesta linha de pensamento, não é, pois, de estranhar ter-se assistido em Portugal ao desenvolvimento e consolidação da produção de rochas ornamentais (mármore e granito, principalmente), das matérias-primas cerâmicas (caulino, feldspato, argilas especiais e argilas comuns), e, em resposta às necessidades de criação de infra-estruturas e renovação do parque habitacional, a produção de areias, britas e calcário para a indústria cimenteira. Este perfil de produção tem que entender-se como o resultado conjugado da nossa base de recursos e da debilidade tecnológica do País neste domínio, incapaz de produzir matérias-primas de elevado valor acrescentado, característica de países tecnologicamente evoluídos.

Esta circunstância reforça a importância das matérias-primas não metálicas no seu importante contributo para a indústria nacional e a sua competitividade. Refira-se, somente a título de exemplo, que a indústria cerâmica tem um volume de negócios anual de 1 000 M€, sendo 40% da produção para exportação, e a fileira da pedra natural (ou rochas ornamentais) apresenta um volume anual de negócios de cerca de 500 M€, representando a exportação uma importância muito relevante no mercado dos seus produtos, ou, ainda, o sector cimenteiro, um dos mais dinâmicos e internacionalizados da nossa economia, que suportou a seu crescimento e expansão no mercado de matérias-primas nacionais.

Um estudo realizado em 2002 veio reforçar esta perspectiva da importância do sector dos produtos minerais não metálicos – que em Portugal incluem, principalmente, a produção cerâmica, o cimento, o vidro e cristais e os materiais de construção –, o qual evidencia um bom nível de desempenho na economia portuguesa.

Os mais rentáveis		Os mais sólidos	
Rendibilidade dos capitais investidos em 2000 em %		Solvabilidade (Capital próprio/passivo) em 2000	
Produtos minerais não metálicos	6,28	Indústria Extractiva	0,89
Material eléctrico de precisão	5,36	Produtos minerais não metálicos	0,87
Indústria Extractiva	4,63	Transportes e distribuição	0,81
Comércio electro-electrónico	3,75	Madeira, cortiça e móveis	0,65
Metalomecânica	3,54	Metalurgia base	0,65

Universo de análise: 987 das 1000 melhores PME não financeiras, publicado pela "EXAME", numa análise de 20 sectores de actividade

## A PRODUÇÃO MINEIRA NACIONAL E SUA EVOLUÇÃO NO ÚLTIMO DECÉNIO

A produção global da indústria extractiva portuguesa no último decénio passou de 640 M€, em 1995, para 753 M€, em 2004, correspondendo a uma taxa média de crescimento anual de 1,8%, a preços constantes (4,6%, em termos nominais). O emprego directo baixou de 11 788 para 10 624 postos de trabalho, enquanto a produtividade passou de 54 300 para 70 900 €/trabalhador, correspondendo a um crescimento superior a 30% (equivalente a uma taxa média anual de 3,0%). As principais produções nos anos extremos do período em análise apresentam-se no quadro seguinte.

### Indústria Extractiva de Portugal Volume e Valor da produção

	Volume		Valor		Variação (%)		
	(t)		1000 €(2005)		Volume	Valor	Valor Unitário
	1995	2004	1995	2004			
<b>Minérios metálicos</b>	<b>139.702</b>	<b>97.381</b>	<b>252.266</b>	<b>190.701</b>	<b>-30,3%</b>	<b>-24,4%</b>	<b>8,4%</b>
Cobre (contido em concentrados)	129.726	95.743	223.546	184.531	-26,2%	-17,5%	11,8%
Estanho (em concentrados)	8.466	361	22.112	1.318	-95,7%	-94,0%	39,8%
Tungsténio (em concentrados)	1.510	1.277	6.608	4.852	-15,4%	-26,6%	-13,2%
<b>Minerais não metálicos</b>	<b>908.808</b>	<b>918.274</b>	<b>11.657</b>	<b>10.988</b>	<b>1,0%</b>	<b>-6,0%</b>	<b>-7,0%</b>
Sal-gema	587.288	661.704	4.146	5.050	12,7%	21,8%	8,1%
Caulino	212.065	152.077	4.432	3.852	-28,3%	-13,1%	21,2%
Feldspato	100.749	98.262	2.418	1.689	-2,5%	-30,1%	-28,4%
Talco	8.706	6.231	660	367	-28,4%	-44,4%	-22,4%
<b>Rochas industriais</b>	<b>65.758.484</b>	<b>107.091.899</b>	<b>503.656</b>	<b>712.814</b>	<b>62,9%</b>	<b>41,5%</b>	<b>-13,1%</b>
Argilas comuns	945.974	2.240.427	2.160	7.376	136,8%	241,4%	44,2%
Argilas especiais	475.033	413.151	2.513	4.981	-13,0%	98,2%	127,9%
Rochas ornamentais (carbonatadas)	1.421.385	2.950.189	127.457	161.447	107,6%	26,7%	-39,0%
(silicatadas)	698.845	748.571	75.885	72.573	7,1%	-4,4%	-10,7%
(ardósia)(*)	216.728	645.862	32.709	31.951	198,0%	-2,3%	-67,2%
(pedra p/calçamento)	26.172	36.134	2.306	4.935	38,1%	114,0%	55,0%
(pedra rústica)	479.640	1.255.402	16.556	39.478	161,7%	138,5%	-8,9%
Areia comum	(**)	264.220	(**)	12.510	*	*	*
Areia especial	3.905.755	8.063.728	12.293	36.057	106,5%	193,3%	42,1%
Granulados (inclui calcário para cimento)(***)	585.824	1.070.600	7.124	13.095	82,8%	83,8%	0,6%
Outras substâncias minerais	55.492.975	87.404.491	215.730	315.715	57,5%	46,3%	-7,1%
<b>Total da Indústria Extractiva</b>	<b>1.510.153</b>	<b>1.999.124</b>	<b>8.922</b>	<b>12.696</b>	<b>32,4%</b>	<b>42,3%</b>	<b>7,5%</b>
	<b>65.385.609</b>	<b>105.157.365</b>	<b>640.122</b>	<b>753.026</b>	<b>60,8%</b>	<b>17,6%</b>	<b>-26,9%</b>

Fonte: DGGE-Divisão de Estatística

Os concentrados de cobre contêm prata: 39 t, em 1995, e 24 t, em 2004.

(\*) Inclui xisto ornamental

(\*\*) Não autonomizada estatisticamente

(\*\*\*) Inclui calcário e margá para cimento e calcário e margá para cal

A análise do quadro possibilita a caracterização do perfil actual da indústria extractiva portuguesa:

- a inexistência de produção de combustíveis de origem mineral;
- minas metálicas explorando jazigos de classe mundial: Neves-Corvo e Panasqueira, com valor de produção correspondendo a 25% do total dos recursos sólidos;
- predominância da importância dos minerais não metálicos e rochas industriais no valor da produção (75% do total dos recursos sólidos);
- considerando as substâncias produzidas evidencia-se uma indústria extractiva claramente subsidiária da construção civil e obras públicas (granulados, areias, calcário para cimento, rochas ornamentais e matérias-primas cerâmicas: feldspato, caulino, argilas comuns e especiais), produzindo, predominantemente, bens não transaccionáveis, mas onde a produção metálica tem ainda alguma expressão;
- as matérias-primas minerais não metálicos são fundamentais à competitividade de dois subsectores transformadores (cerâmica e rochas ornamentais) fortemente exportadores (40% da produção cerâmica e 50% no caso das rochas ornamentais);

A exportação de minerais representou, em 2005, quase 550 M€, correspondendo 60% deste valor aos concentrados metálicos e o restante a rochas ornamentais.

#### **PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA EVOLUÇÃO SECTORIAL NO DECÉNIO DA VIRAGEM DO MILÉNIO**

Apresentamos, seguidamente, os principais aspectos da evolução sectorial em Portugal na última década do século.

No subsector dos minerais energéticos verificou-se a cessação da produção de urânio, após um período de actividade contínua, iniciada em 1951. Encerrou-se, deste modo, um ciclo de mineração que teve uma apreciável importância histórica para o País. Portugal teve a primeira produção de rádio em 1913, na mina da Urgeiriça, a que se seguiram outras pequenas minas, estimando-se a produção histórica em 50 gramas de rádio. Em 1951 a mina da Urgeiriça foi convertida para a produção de concentrados de urânio, numa altura em havia uma grande escassez deste metal e uma grande procura motivada pela corrida armamentista nuclear. A produção de concentrados terminou em 2001, registando-se uma produção histórica de 3 720 toneladas de urânio contido em concentrados e proveniente de 56 jazigos explorados. Concluída a exploração desenvolve-se, presentemente, um vasto programa de recuperação ambiental dos sítios de exploração, sendo a 1ª obra importante o confinamento da barragem velha da mina da Urgeiriça, com base num programa-director

que abrange a totalidade dos sítios onde se verificou actividade. Espera-se, no período 2007-2013, e aproveitando verbas do programa comunitário de apoio a Portugal, concretizar o programa-director, cujo custo global está estimado em cerca de 60 milhões de euros, representando um custo ligeiramente superior a 15 €/kg U recuperado.

**Lisboa, sede dos grupos internacionais de estudo dos metais não ferrosos**

Desde de 1 de Janeiro do corrente ano que se encontram sediados em Lisboa os 3 grupos internacionais de estudo dos metais não ferrosos: ICSG - International Copper Study Group (23 países membros), que se havia instalado em 1992; INSG - International Nickel Study Group (15 membros); ILZSG - International Lead-Zinc Study Group (30 membros). O INSG que estava sediado em Haia e o ILZSG em Londres. A mudança realizou-se no âmbito de um processo de racionalização da actividade e dos custos dos 3 grupos, os quais passaram a partilhar o secretariado e são dirigidos por um único secretário-geral. Os grupos de estudo são organizações intergovernamentais, reconhecidos pela Organização das Nações Unidas, dedicando-se à realização de estudos sobre os respectivos metais, fornecimento de estatísticas e constituem foruns de discussão e análise de temas sectoriais entre produtores e consumidores. A escolha de Lisboa resultou de um processo concursal, no qual participaram mais duas cidades europeias, tendo a comissão de selecção concluído que a proposta portuguesa se apresentava como a mais vantajosa para o conjunto dos grupos. Esta conclusão reafirma a competitividade de Lisboa como cidade de acolhimento de organizações internacionais, oferecendo um conjunto equilibrado de condições como a centralidade, custo e qualidade de serviços de apoio, para além de uma agradável cosmopolitismo e qualidade de vida.

No subsector dos minérios metálicos, não se verificou qualquer nova mina no decénio que vimos analisando. Os últimos dois anos assistiram a uma subida notável das cotações dos metais, o que originou a decisão de re-arranque da mina de Aljustrel, o que deverá acontecer no início do ano de 2007. O investimento previsto é 80 M€ e a mina extrairá 168 000 t/ano de concentrados de zinco, com 50% Zn, e 36 500 t/ano de concentrados de chumbo, com 50% Pb. O operador será a EuroZinc Mining Corp, uma empresa de base canadiana, a qual, em meados de 2004, adquiriu a mina de Neves-Corvo a 100%. A mina de Neves-Corvo tem mantido um nível produção de 2,0 Mt/ano de alto teor de cobre (≈5%), que originam 90 000 toneladas de cobre contido em concentrados. Em 2003 a mina terminou a produção contínua de estanho, o qual ficou agora reduzido a campanhas esporádicas, sendo o minério extraído stockado e aguardando posterior tratamento mineralúrgico. No mês de Julho de 2006 começou a

produção de concentrados de zinco, iniciando-se no escalão das 400 000 toneladas de minério anual, que originarão 50 000 toneladas de

concentrado com 50% Zn, passando, dentro de dois anos, a 800 000 toneladas de minério. Em 2005 a mina terminou uma campanha de prospecção, com a duração de 10 anos, da zona envolvente da concessão, o que permitiu uma melhor definição dos limites dos corpos mineralizados e ampliação das suas reservas. Também o reconhecimento por sondagens interiores das extensões das massas mineralizadas tem evidenciado minério com muito elevados teores em cobre, de que realçamos uma intercepção de 16 metros de sulfuretos maciços, com quase 14% de cobre.

A tradicional produção de concentrados de tungsténio, proveniente da mina da Panasqueira, atravessou um período difícil durante o período em análise e somente as qualidades únicas dos seus concentrados, na produção de filamento de tungsténio para lâmpadas de incandescência, possibilitaram a manutenção de um nível mínimo de vendas. No final do período a notável subida das cotações do tungsténio veio possibilitar o lançamento de um ambicioso projecto de modernização da mina, com um investimento de 45 M€. Em 2003 a Avocet Mining plc vendeu a sua posição à Primary Metals Inc, uma empresa baseada em Vancouver. A empresa iniciou, entretanto, uma campanha de prospecção de novos recursos na área envolvente da concessão mineira.

A expectativa, sempre adiada, da entrada em produção de uma nova mina de ouro, parece ir concretizar-se num futuro próximo, beneficiando a notável subida das cotações dos metais preciosos. Assim, a Iberian Resources acaba de celebrar um contrato com o Estado para a exploração de um conjunto de corpos mineralizados em ouro, na região de Montemor. As reservas globais ultrapassam as 8,5 Mt, com 2,18 g Au/t, correspondendo a 600 000 onças de ouro. Os corpos mineralizados são superficiais, pelo que a exploração será a céu aberto. A empresa detém também direitos de prospecção na região de Portalegre, possuindo já algumas intercepções de sondagem com valores muito interessantes. Na região de Jales (concelho de Vila Pouca de Aguiar), a Kernow Resources adquiriu direitos para a realização de uma exploração experimental na mina da Gralheira. O potencial da região é bem conhecido, tendo a mina de Jales, que laborou continuamente durante 50 anos, produzido 830 000 onças de ouro, com um teor médio de 12,9 g Au/t. A Kernow Resources detém também direitos de prospecção na zona envolvente da mina de Poço de Freitas, esperando vir a definir um novo centro produtivo.

No subsector dos minerais não metálicos as principais substâncias (sal-gema, caulino, feldspato e talco, por ordem de importância económica), mantiveram volumes de produção relativamente estabilizados. A produção de sal-gema manteve a sua proveniência dos dois centros de produção clássicos (Matacães e Loulé), como fonte de matéria-prima cativa dos grupos químicos (Soda Póvoa e Uniteca, respectivamente) em que se integram e apresentou taxas de crescimento superiores a 1%/ano, satisfazendo as necessidades de expansão da indústria química nacional. O projecto Renoeste (Carrigo, Pombal) não se conseguiu firmar como centro

produtor de relevo, tendo-se verificado uma alteração estratégica, em sinergia com a rede de gás natural, na utilização do campo diapírico para a abertura de cavidades de armazenamento subterrâneo de gás, de que daremos conta mais adiante.

Na produção de caulino, num mercado muito competitivo na gama baixa, tem vindo a verificar-se uma melhoria generalizada da sua qualidade, reflectida no crescimento do seu valor unitário, com a instalação de unidades de lavagem e filtração. Esta substância tem acompanhado a tendência geral do mercado de produtores de matérias-primas cerâmicas para a concentração (redução do número de operadores) e associação com empresas estrangeiras, invariavelmente detentoras de melhores tecnologias de processamento. Contudo, na gama alta, caso dos caulinos de cobertura, praticamente cessou a produção com o esgotamento dos melhores jazigos.

O feldspato – matéria-prima fundamental da indústria cerâmica – tem apresentado alguma volatilidade relativamente às suas origens, embora a tipologia dos jazigos-fonte (filões pegmatíticos) não tenha variado. A melhoria tecnológica verificada tem-se limitado ao loteamento dos produtos provenientes de vários jazigos, atenuando as variações das características para a formulação das pastas. A Felmica irá investir 34 M€ numa nova unidade de processamento de feldspato com baixo teor de ferro, localizada na região de Viseu, o que marca um salto qualitativo na indústria. Com apreciável expressão tem sido a utilização de areias feldspáticas como fonte de feldspato, caso da produção da mina do Seixoso. A evidenciação, feita pelo IGM, das arcoses da Catraia como fonte alternativa de feldspato não encontrou, até ao momento, um promotor industrial que se proponha desenvolver o projecto numa óptica de maximização do aproveitamento dos recursos da jazida. Na produção de talco para cargas industriais verificamos uma ligeira diminuição da produção, embora com algumas melhorias na tecnologia de processamento, impostas por um mercado cada vez mais exigente relativamente às características dos produtos comercializados.

O subsector das rochas ornamentais manteve a dinâmica de crescimento das décadas anteriores, tendo o seu volume de produção, passado de 1,41 Mt, em 1995, para 2,95 Mt em 2004, com um comportamento foi diferenciado por tipo de pedra. Assim, as rochas carbonatadas (mármore e calcários) tiveram uma taxa de crescimento anual modesta (inferior a 1%) do volume de extracção, acompanhada de uma diminuição do valor unitário, consequência de uma deslocação da produção de mármore, da região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, para a Serra d'Aire e Candeeiros, onde se exploram calcários ornamentais. No início do período (1997) verificou-se que, pela primeira vez no registo histórico da produção, a extracção de calcário excedeu a de mármore. Aliás, constata-se um comportamento bastante diferenciado dos dois grandes pólos de extracção. Assim, o pólo alentejano enfrenta uma

significativa redução da procura externa, por efeito desfavorável de modismo. Em contrapartida, o pólo do Parque Natural da Serra d'Aire e Candeeiros tem vindo a aproveitar o crescimento da procura da pedra da região, com a China como importante destino da produção. As rochas silicatadas tiveram um crescimento notável, tendo triplicado o seu volume de produção (crescimento médio anual de 13%), embora com uma diminuição dramática dos preços unitários, reflectindo a situação de grande concorrência existente no mercado deste tipo de pedra e, comparativamente com as rochas carbonatadas, a maior dificuldade de diferenciação dos granitos portugueses relativamente aos mármore. Como Portugal não possui nenhuma variedade exótica de granitos a concorrência da sua indústria tem que se fazer numa base de competitividade-custo, enquanto que nos mármore já se podem implementar estratégias de competitividade-diferenciação, o que, infelizmente, ainda só um número limitado de produtores adoptou. A ardósia continua a evidenciar um crescimento paulatino de uma indústria madura mas com grande capacidade de adaptação ao mercado, desenvolvendo uma estratégia de concorrência muito sólida, o que lhe possibilita o aumento crescente do valor unitário da sua produção. Dada a importância económica crescente da produção de pedra rústica esta passou a autonomizar-se estatisticamente e atinge já uma expressão económica superior à da totalidade do subsector dos minerais não metálicos

A produção de argilas especiais (para pavimentos, revestimentos e louça sanitária) apresentou ligeira diminuição da produção, embora um notável incremento do valor unitário, reflectindo uma melhoria técnica das explorações, acompanhando um processo de especialização industrial no qual os produtores das matérias-primas cerâmicas fornecem as unidades industriais de produção cerâmica com produtos que possibilitam a preparação imediata das barbotinas, o que levou ao encerramento das unidades de preparação de pasta destas fábricas, proporcionando ganhos de produtividade e melhoria de qualidade da mesma, garantia da diminuição das perdas de fabrico. A produção de argilas comuns (para telha e tijolo) acompanhou a expansão do sector da construção de novas habitações, no qual o País apresenta uma elevada taxa de crescimento. Assim, a produção de argila comum passou de um pouco menos de 1 milhão de toneladas anuais para mais de 2,2 milhões, o que se deve também interpretar como uma melhoria da cobertura estatística, com a concentração da produção em grandes unidades industriais, tecnicamente mais capacitadas. Esta mesma consideração se aplica à produção de areia comum.

A produção de granulados aumentou continuamente ao longo do período, a uma taxa média de 5,1% ao ano, marcando um certo abrandamento em relação à década anterior, ultrapassada a fase mais aguda da construção de infra-estruturas com as quais o País procura preencher o "gap" de desenvolvimento em relação aos seus parceiros

européus. Ainda assim, o consumo per capita (cerca de 9 t/ano.pessoa) subiu, atingindo um dos mais altos valores da Europa.

O investimento global em prospecção e pesquisa, predominantemente proveniente de investimento estrangeiro, atingiu um valor próximo dos 32 M€. A sua repartição foi de 55% para metais básicos, 35% para metais preciosos e o restante para substâncias não metálicas. A sua evolução caracteriza-se por uma acentuada variação no período 1995-2004, com um declínio do valor do investimento na parte final do período (a partir de 1997), tendo atingido o seu valor máximo em 1996 (ligeiramente acima de 6 M€/ano), para atingir o seu valor mais baixo em 2004 (ligeiramente abaixo de 1,5 M€/ano). Este comportamento, reflectindo e acompanhando as tendências de âmbito mundial, mostrou, contudo, maior variabilidade relativamente aos metais básicos quando comparado com o comportamento dos metais preciosos. Relativamente às outras substâncias (águas minerais, caulino, feldspato, diatomito, geotermia, etc.) apresentaram razoável estabilidade, embora com uma pequena tendência para crescimento, correspondendo, na quase totalidade, a investimento nacional.

Os resultados obtidos no subsector dos minérios metálicos não proporcionaram a abertura de nenhuma nova mina, embora o conhecimento das jazidas de ouro tenha tido um apreciável incremento. No início do período, induzido pela descoberta do jazigo de Agua Blanca (Ni), em Espanha, executou-se o primeiro projecto importante de prospecção de níquel nos maciços básicos do norte alentejano, embora os resultados não tivessem justificado a passagem além da fase estratégica. Nos não metálicos foram sendo evidenciados e caracterizados diversos jazigos de feldspato.

No petróleo manteve-se um baixo nível de actividade prospectiva (somente 1 ou 2 operadores), orientada predominantemente para a área emersa correspondendo a um investimento global de 40 M€. A meio do período foi executado um projecto ambicioso para a plataforma profunda (>200m) com base num contrato de aquisição de sísmica especulativa com uma empresa norueguesa (TGS-NOPEC). Aguarda-se a atribuição dos blocos 13 e 14, situados na costa algarvia, junto à fronteira com Espanha, ao consórcio Repsol/RWE. Prevê-se para breve a atribuição a um consórcio constituído pela Galp (empresa portuguesa dos petróleos) e a Petrobrás de concessões para a prospecção e exploração de petróleo em águas profundas ao largo do Alentejo e Peniche. O Consórcio terá três anos para pesquisar a costa portuguesa, devendo executar um poço ao fim deste período ou desistir da concessão. Espera-se que estas campanhas possam constituir a base do lançamento de um novo ciclo de prospecção com uma duração mínima de 10 anos, durante o corrente ano.

## **A "NOVA " INDÚSTRIA EXTRACTIVA**

A actividade económica ligada ao aproveitamento dos recursos tem vindo a evoluir, muito particularmente alargando o conceito de indústria extractiva a novos domínios de actividade económica que aproveitam os recursos do subsolo. Nestes novos domínios utilizam-se, pelo menos parcialmente, tecnologias, modelos e conceitos de gestão desenvolvidos para a indústria "clássica".

Nesta perspectiva podemos englobar na designação de "nova" indústria extractiva, as águas minerais e de nascente, a geotermia (de alta e baixa temperatura), a mineração inversa, a exploração de areias e cascalho do fundo do mar, a construção de cavidades de armazenamento de produtos e outras actividades ligadas à utilização de recursos minerais.

Nos últimos anos as estatísticas oficiais (IGM) têm vindo já a incluir as águas minerais e de nascente na indústria extractiva. Este subsector cresceu 95% entre 1995, com um valor de produção 116,8 M€ (equivalente a 145,3 M€(2005)), e 2004, no qual o valor da produção foi de 226,3 M€, com um volume de produção global de 960 milhões de litros, correspondendo a uma das capitações mais elevadas da Europa. O subsector é o mais dinâmico de todos e a sua importância não cessou de crescer, tendo passado de um peso na estrutura de 15,3%, em 1995, para 23,1%, em 2004, caracterizando-se por ser tecnologicamente avançado, com empresas modernas e capacidade de gestão. O volume de emprego é de 1 355 postos de trabalho. Embora não disponhamos de dados fiáveis relativamente a águas comuns subterrâneas admitimos que o seu valor económico deve corresponder a algumas centenas de milhão de euros<sup>4</sup>.

A geotermia em Portugal pode incluir-se neste conceito de "nova" indústria extractiva e, embora mal conhecida, atinge já uma expressão considerável no domínio das altas temperaturas, na produção de energia eléctrica de S. Miguel. Em 2003 a geotermia tinha uma potência instalada de 16 MWe e contribuiu com 25% da produção total da energia eléctrica da ilha, correspondendo a uma produção global de cerca de 90 GWh, com um valor de 9,0 M€. Presentemente encontra-se em desenvolvimento o projecto de uma nova central, na ilha Terceira, com uma potência prevista de 12 MWe. Também a geotermia de baixa temperatura tem assistido a alguns desenvolvimentos recentes nos últimos anos, de que se realçam os aproveitamentos de S. Pedro do Sul, Chaves, Vizela e Hospital da Força Aérea, em Lisboa<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> A água subterrânea tem sido, com frequência, referenciada como o recurso natural crítico do século XXI e alguns antevêm mesmo que a gestão dos recursos hídricos subterrâneos possa vir a ser tão estrita como hoje é a gestão dos campos petrolíferos.

<sup>5</sup> Costa, L.R. e Cruz, J. (1998), "Geotermia de Baixa Entalpia em Portugal Continental. Situação Presente e Perspectivas de Evolução", Boletim de Minas, Vol. 37, nº 2

Como exemplo de uma outra “nova” indústria pode referir-se a mineração inversa (“reverse mining”), entendida como o retorno a condições estáveis de substâncias tóxicas ou ecologicamente perigosas em depósito no subsolo. Refira-se, como exemplo de referência, o caso das minas de urânio na Alemanha de Leste (Wismut)<sup>6</sup>. Em Portugal, no programa de recuperação de áreas mineiras degradadas, iniciar-se-á uma operação que deverá movimentar mais de 1 Mt de escombros e minérios pobres de urânio, os quais serão depositados em antigas cortas de exploração. Esta designação de mineração inversa poderá mesmo ser estendida à constituição de qualquer aterro para resíduos, desde que instalado no subsolo, em cavidade projectada para o receber. Nos últimos anos assiste-se ao desenvolvimento<sup>7</sup> de projectos de mineração de aterros antigos para aproveitamento dos materiais neles contidos, tanto pela sua valia energética, como para recuperar metais, plástico, etc.

O projecto de armazenamento subterrâneo do Carriço concluiu a sua 1ª fase (2006), com a abertura de 4 cavidades para armazenamento de gás natural e foram definidas novas áreas de expansão, tendo uma capacidade de armazenamento de 160 milhões m<sup>3</sup> e implicado um investimento de 110 M€. A salmoura proveniente da dissolução para abertura das cavernas foi parcialmente utilizada na alimentação de uma fábrica de sal refinado, sendo o excedente rejeitado por um emissor oceânico.

Nesta mesma linha podemos referir o armazenamento ou sequestro de CO<sub>2</sub> em formações geológicas com características adequadas, como solução tecnológica para a diminuição da emissão deste gás na atmosfera. Neste caso a receita da operação é a proveniente do crédito de emissão não utilizado. A opção pelas tecnologias de “carvão limpo” está estritamente associada à existência das condições necessárias. Está prevista a construção de 2 unidades deste tipo para a plataforma industrial de Sines (costa atlântica do Sul de Portugal) pelo que as formações geológicas da área que possam funcionar como unidade de sequestro de carbono têm um interesse muito grande.

Nos últimos anos também se tem vindo a consolidar a ideia que a deposição final em formações geológicas profundas corresponde à melhor solução para os resíduos radioactivos de alto nível de radioactividade, existindo um conjunto de projectos (EUA, Suécia, Finlândia, por exemplo) que visam instalar um repositório final. Em Portugal, dada a sua actividade neotectónica, é problemático que se possa vir a instalar um depósito deste

---

<sup>6</sup> A dimensão da operação é verdadeiramente impressionante, estando o seu custo global estimado em 6 500 M€. A área abrangida tem cerca de 3 700 ha, dos quais 2 300 ha estão ocupados por escombros (312 Mm<sup>3</sup>) e barragens de estéril (150 Mm<sup>3</sup>). A produção média anual da mina Wismut foi de 7 000 tU (quase o dobro da produção histórica de Portugal).

<sup>7</sup> Ver, por exemplo, o portal EPA (USA): <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/land-rcl.pdf>

tipo, aspecto que terá que ser cuidadosamente ponderado no quadro do relançamento do debate nacional sobre a inclusão da opção nuclear no sistema energético nacional.

Como prolongamento do ciclo de vida da mina, aos programas de recuperação associam-se, com alguma frequência, projectos turístico-culturais de diversificação económica, valorizando o património de arqueologia industrial deixada pela actividade mineira, a que se pode associar a preservação de valores naturais que lhe estão geralmente associados, como sejam a mineralogia e a geologia das formações. Em Portugal existem já alguns exemplos, de que realçamos a mina do Lousal e a mina da Cova dos Mouros. Também, com base na lavaria do Rio da mina da Panasqueira, se iniciou um ambicioso projecto de valorização desta unidade industrial desactivada.

Nesta perspectiva de “nova” indústria extractiva podem também incluir-se os recursos minerais marinhos, com particular realce, tendo em consideração a provável viabilidade económico-ambiental da sua exploração, as areias e cascalhos do fundo do mar, particularmente se em associação com acções de protecção costeira e desenvolvimento de território. Esta atractividade tem aumentado com a ampliação dos condicionamentos da exploração nas áreas emersas do território, particularmente quando esta se desenvolve no domínio hídrico. No plano europeu o volume anual de extracção destes recursos ronda os 60 milhões de toneladas, ocupando a Holanda e o Reino Unido as posições cimeiras, com mais de 80% daquele volume<sup>8</sup>. No caso português, os trabalhos iniciados nos anos 80 pelos serviços oficiais, evidenciaram as potencialidades de ocorrência deste tipo de depósitos na plataforma continental portuguesa, despertando o interesse e abrindo a possibilidade de tal exploração ocorrer em Portugal.

## **UMA PERSPECTIVA EUROPEIA E MUNDIAL SOBRE A INDÚSTRIA EXTRACTIVA**

### **No plano europeu**

Na sequência da I Cimeira da Terra (Rio de Janeiro, 1992) o princípio do desenvolvimento sustentável, assente em 3 pilares, o económico, o social e o ambiental, foi universalmente aceite e está hoje no centro das políticas públicas da União Europeia. Como consequência desta orientação todos os sectores da economia estão convocados a realizar a integração do Desenvolvimento Sustentável nos seus processos e estratégias de desenvolvimento.

Durante a Presidência portuguesa (1º. semestre de 2000) foi preparada pela Comissão Europeia uma comunicação sobre a indústria

---

<sup>8</sup> Magis web site <http://www.sandandgravel.com>

extractiva não energética formulando as linhas de política para este sector<sup>9</sup>, num ensaio de integração nos moldes já referidos. Nela se reconhece a sua importância económica, pois emprega directamente 190 000 trabalhadores, sendo constituído maioritariamente (mais de 90%) por PME com menos de 50 trabalhadores. Nesta comunicação, para além dos “clássicos” subsectores da indústria, também se reconhece a importância dos sítios mineiros e pedreiras abandonadas como problema a tratar no quadro das orientações sectoriais.

Um documento de conclusões, ainda preparado e negociado durante a presidência portuguesa, viria a ser adoptado, definindo as seguintes prioridades:

- a prevenção de acidentes graves;
- a melhoria do desempenho ambiental da indústria;
- a implementação de um sistema de gestão de resíduos de alta qualidade.

Para a sua realização a Comissão desencadeou as seguintes iniciativas:

- extensão da Directiva Seveso à indústria extractiva não energética;
- a elaboração de uma directiva sobre a gestão de resíduos mineiros;
- a implementação de um sistema de indicadores ambientais que permita monitorizar o desempenho e fixar objectivos à indústria.

Num quadro mais geral a indústria extractiva virá igualmente a ser abrangida pela directiva sobre a responsabilidade ambiental, embora esta última, dada a sua complexidade, se encontre em fase menos avançada de preparação.

A directiva sobre a gestão de resíduos mineiros (tornada uma necessidade pelos graves acidentes de Aznalcollar, em Espanha, e Baya Mare, na Roménia) ficou concluída e aprovada, após um longo processo conduzido pelo Joint Research Center, em diálogo com todos os grupo de interesse. Esta directiva viria a integrar algumas disposições na linha da Directiva Seveso.

Presentemente decorre um processo de avaliação do grau de implementação da comunicação atrás referida, tendo o consórcio encarregado de a fazer apresentado (Março de 2006) o seu relatório final, com conclusões e recomendações. Pode dizer-se que os tempos não correm fáceis para a indústria extractiva europeia, confrontada com uma concorrência internacional muito forte, o baixo nível de prioridade

---

<sup>9</sup> “**Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry**”, COM (2000) 265 final, Bruxelas

reconhecida ao sector pelos decisores políticos e um tecido empresarial onde predominam as PME's.

A indústria encontra-se, pois, perante uma forte pressão para a melhoria do seu desempenho ambiental e concorrencial, o que terá, necessariamente, um impacto muito relevante nos seus processos produtivos e no seu relacionamento com a sociedade. Em anterior ocasião<sup>(3)</sup> abordámos esta questão referindo: "Os próximos anos assistirão, muito provavelmente, ao desenvolvimento do conceito de exploração integrada, se possível com resíduo nulo, no qual a extracção do recurso corresponderá unicamente a uma fase do projecto, o qual incluirá a definição e desenvolvimento da utilização posterior do sítio de exploração e deverá tratar todos os produtos extraídos, uns geradores de mais valias pela via da comercialização, outros geradores de menos valias pelos custos inerentes à sua deposição final. A mineração surgirá, assim, integrada no ciclo de vida dos materiais de base mineral, em conjugação com a reciclagem, em moldes que procurem otimizar o custo de produção, o consumo energético e o impacto ambiental.

É esta indústria, que adopta uma concepção integral do aproveitamento da totalidade dos recursos naturais e de um elevado grau de incorporação tecnológica nos seus produtos e no tratamento de resíduos, que designaremos por geoindústria."

### **No plano mundial**

A prática industrial das empresas mais dinâmicas tem sofrido considerável evolução nos últimos anos, contudo, a percepção pública dessa evolução é insuficiente, pelo que a imagem da indústria continua bastante negativa, mais a mais quando as práticas do passado ou os "maus" praticantes de hoje são rapidamente identificados e objecto de atenção dos media.

Esta questão da imagem da indústria atingiu um tal nível de preocupação nas principais empresas mineiras mundiais que, como acção preparatória da II Cimeira da Terra, em Joanesburgo (Setembro, 2002), adoptaram uma acção voluntarista no sentido da sua alteração. Esta acção foi designada por "Global Mining Initiative" e incluiu um programa de reformas internas e um rigoroso estudo das questões sociais enfrentadas pela indústria. Este trabalho encontra-se hoje acessível no relatório "Mining, Minerals and Sustainable Development"<sup>10</sup> (ver caixa extra-texto das principais conclusões)

Os seus objectivos principais são:

- proceder à avaliação da indústria mineira e do sector mineral na sua transição para um modelo de desenvolvimento sustentável,

---

<sup>10</sup> Disponível em <http://www.iiied.org/mmsd>, sob o título "**Breaking new ground**".

abrangendo os aspectos positivos e negativos da prosperidade económica, do bem-estar humano, da saúde dos ecossistemas e dos processos responsáveis de tomada de decisão, bem como a alteração das práticas do passado;

- identificar como os serviços fornecidos pelos minerais podem ser concretizados em moldes sustentáveis no futuro;
- apresentar propostas para a melhoria global do sistema;
- constituir plataformas de análise e compromisso para cooperação e interligação ("networking") entre todos os grupos de interesse ("stakeholders").

O trabalho realizado, pela sua abrangência geográfica (todo o mundo) e temática (a generalidade das principais substâncias minerais e um elenco muito diversificado de problemas), a par de um posicionamento iminentemente pró-activo e de compromisso com todos os grupos de interesse, constituirá, sem dúvida, um documento de referência para os próximos tempos, influenciando todos os decisores políticos, tanto a nível global como regional e nacional.

**Princípios do Desenvolvimento Sustentável para a Indústria Extractiva (MMSD)**

"Breaking new ground"

**No plano económico**

- maximizar o bem-estar humano;
- assegurar uma utilização eficiente dos recursos, naturais e outros, maximizando as vendas geradas;
- procurar identificar e internalizar os custos ambientais e sociais;
- manter e reforçar as condições de viabilidade das empresas.

**No plano social**

- assegurar uma justa distribuição dos custos e benefícios do desenvolvimento;
- respeitar e reforçar os direitos humanos fundamentais, incluindo as liberdades política e civil, autonomia cultural, liberdades social e económica e a segurança das pessoas;
- procurar melhorias continuadas, assegurando que a depleção de recursos naturais não prejudique as futuras gerações através da sua substituição por outras formas de capital;

**No plano ambiental**

- promover uma postura responsável na utilização de recursos naturais e do ambiente, incluindo a reparação de danos do passado;
- minimizar a produção de resíduos e de prejuízos ambientais ao longo de toda a

cadeia produtiva;

- actuar com prudência quando os impactes são descehchidos ou incertos;
- operar dentro dos limites ecológicos e proteger o capital natural crítico;

**No plano da governância**

- apoiar a democracia representativa, incluindo as tomadas de decisão participadas;
- encorajar a livre iniciativa no quadro de um sistema transparente de regras e incentivos justos;
- evitar a concentração excessiva de poder através de mecanismo de controlo adequados;
- assegurar a transparência fornecendo a todos os grupos de interesse o acesso à informação rigorosa e relevante;
- assegurar o controlo das decisões e acções com base em análise alargada e fiável;
- encorajar a cooperação na criação de climas de confiança e partilha de valores e objectivos;
- assegurar que a tomada de decisão ocorre no nível apropriado, praticando o princípio da subsidiariedade, sempre que possível.

Uma visão prospectiva do aproveitamento do subsolo e dos recursos minerais: a economia dos georrecurso.

No que atrás se disse sobre a “nova” indústria extractiva e na evolução estrutural decorrente do modelo de desenvolvimento económico da Sociedade procurámos identificar algumas das suas características fundamentais. Propomo-nos, no que se segue, ensaiar um exercício prospectivo com um horizonte temporal mais dilatado.

O subsolo constitui uma dimensão fundamental para o funcionamento e equilíbrio do planeta. A biosfera, e muito particularmente o desenvolvimento das sociedades humanas, depende dos espaços e dos recursos do solo e subsolo que são essenciais ao desenvolvimento urbano, ao ordenamento do território, à gestão dos resíduos e dos transportes ou, ainda, as escolhas estratégicas, como o armazenamento e protecção, por exemplo<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Esta perspectiva leva a que nos países desenvolvidos a “investigação e a actividade pública tenham migrado de uma perspectiva de produção mineral para uma estratégia de conhecimento ao serviço de um desenvolvimento sustentável e de políticas públicas (gestão do espaço subterrâneo)”, in “**La Science au service d’un développement durable**”, contribuição dos organismos públicos de investigação franceses, como contributo para a Cimeira da Terra, Joanesburgo (2002).

Esta deriva conduz à identificação de duas funções básicas dos recursos minerais<sup>12</sup>. A função-fonte, correspondendo ao fornecimento de matérias-primas para a produção de bens e serviços, neles incluídos os serviços ambientais, e a função-sumidouro como meio receptor de resíduos – por assimilação ou acumulação – provenientes da produção e consumo. Podemos fundir estas duas funções num mesmo conceito e designar qualquer porção do solo ou subsolo com uma destas funções por georrecurso<sup>13</sup>.

Georrecurso	função-fonte	Extracção de recursos minerais sólidos, líquidos e gasosos
	função-sumidouro	Armazenamento de materiais estratégicos (temporário) e resíduos (definitivo ou provisório)

O stock de georrecurso pode diminuir por depleção (caso dos recursos não renováveis) ou por degradação (os resíduos ou efeitos dos processos de consumo e produção). Constata-se que hoje em dia, as preocupações da sociedade (e dos decisores políticos) relativamente aos recursos evoluiu da depleção para a degradação<sup>14</sup>, traduzida na aceção corrente da qualidade ambiental.

Uma importante característica de qualquer georrecurso é a possibilidade de gerar um benefício económico ou social no seu aproveitamento. A economia tradicional somente trata a função-fonte, e os seus produtos são colocados no mercado a preços que reflectem unicamente os custos “internos” da sua produção. Os georrecurso que desempenham uma função-sumidouro assumem, quase sempre, as características de bens de acesso livre, sendo o seu custo uma externalidade, ausente ou insuficientemente englobada no preço dos bens e serviços. Nesta base, o preço de bens e serviços prestados pelo georrecurso não reflectem adequadamente o seu custo social (custo interno mais externalidade).

Esta distinção irá, seguramente, alterar-se no futuro, em consequência da tendência para a internalização nos custos de produção das externalidades, através do estabelecimento de taxas ambientais<sup>15</sup>. O Reino Unido estabeleceu uma taxa ambiental sobre granulados (1,6 £/t, aproximadamente 2,5 €/t) a qual reflecte, de acordo com os seus

---

<sup>12</sup> European Commission – DG Environment (2002), “**Analysis of Selected Concepts on Resource Management**”

<sup>13</sup> Proposta do autor. **Georrecurso**: qualquer porção do subsolo susceptível de gerar um benefício económico.

<sup>14</sup> Não deixa de ser curioso que os recursos-fonte em risco sejam, hoje em dia, os renováveis, como as pescas, as florestas e os recursos hídricos.

<sup>15</sup> Pensemos na institucionalização recente, na União Europeia, da taxa de emissão de CO<sub>2</sub> e no estabelecimento do comércio de emissões de carbono.

mentores, o valor das externalidades da produção deste tipo de materiais. Uma medida deste tipo, conjugada, por exemplo, com uma taxa sobre resíduos terá um profundíssimo impacte económico, impondo uma deslocação do consumo de granulados primários para reciclados. Refira-se, como exemplo, que uma taxa destas teria como consequência imediata tornar competitiva para abastecimento à região de Lisboa a pedra existente nas escombrelas da Zona dos Mármoreis.

A implementação da generalidade destas orientações vai ter implicações na competitividade da actividade económica associada ao aproveitamento de recursos minerais, traduzindo-se num agravamento dos custos de produção, seja pela necessidade de adopção de processos e tecnologias mais complexas e caras, seja pela necessidade de internalizar custos externos, através de taxas ambientais.

Pensamos, pois, estar perante uma tendência que irá ter o mais profundo impacte, a prazo, quer alterando dramaticamente as condições da actividade da indústria tradicional, quer abrindo novos domínios de actividade económica.

**Cimeira da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável  
(Joanesburgo, Setembro de 2002)  
Que implicações no domínio do aproveitamento dos georrecursos?**

A "deriva" para a produção e consumo sustentáveis vai exigir progresso tecnológico para produção mais limpa e maior responsabilidade ambiental e social dos operadores. A aplicação dos métodos de avaliação de ciclo de vida, de sistemas de indicadores ambientais e outros para avaliação do desempenho vai exigir a produção e disponibilização da informação apropriada, tanto pelas empresas como pelos serviços oficiais.

É previsível que o Banco Mundial, no âmbito do seu exame sobre a Indústria Extractiva ("Extractive Industry Review"), vá incentivar as instituições financeiras a integrarem a perspectiva de desenvolvimento sustentável nos seus processos de decisão.

Os aspectos de eficiência energética e preservação dos recursos hídricos assumirão uma importância crescente. Identicamente com as políticas de prevenção e diminuição da produção de resíduos, reciclagem e utilização eficiente de recursos naturais, com particular relevo para a gestão de produtos químicos e substâncias perigosas. É previsível que o princípio da precaução e inversão do ónus da prova sejam aplicados com muito maior frequência.

A promoção da redução dos riscos associados aos metais pesados vai colocar constrangimentos acrescidos, do mesmo modo que o programa de protecção do meio marinho de fontes de poluição em terra, irá impor reduções substanciais nas emissões de metais nos efluentes.

As iniciativas relacionadas com a biodiversidade, bem como a criação de redes ecológicas (Rede Natura, por exemplo) e as zonas ecológicamente sensíveis irão colocar sérias dificuldades, ou mesmo inviabilizar, o acesso a recursos minerais ocorrentes nestas áreas.

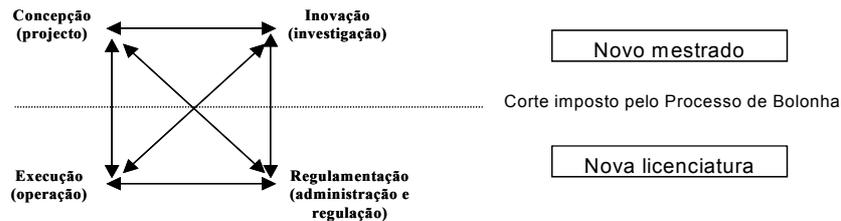
## QUAL O PAPEL DA ENGENHARIA NO PROCESSO DE MUDANÇA?

O quadro que traçamos inviabiliza o cenário “business as usual” e todos os ramos da engenharia vão ter que integrar o conceito do Desenvolvimento Sustentável. A agronomia irá, muito provavelmente, transformar-se numa engenharia ecológica e a silvicultura numa engenharia dos sumidouros de carbono. E a engenharia de minas (entendida, predominantemente, como a engenharia da função-fonte dos georrecurso) e a engenharia geológica em que sentido evoluirão? Poder-se-ão designar por engenharia de georrecurso ou geoengenharia?

Mais importante do que antecipar esta designação, será prever algumas das suas características. Pensamos que esta “nova” engenharia terá que incorporar os princípios do Desenvolvimento Sustentável que temos vindo a referir, através da adopção de uma perspectiva de responsabilidade ambiental pelos seus produtos e a melhoria da eficiência na utilização dos recursos naturais (dos quais o recurso mineral não será o único e, talvez mesmo, o mais importante) e adoptar uma perspectiva de ciclo de vida dos georrecurso, entre outras.

A engenharia será convocada a desempenhar um papel fundamental no processo de integração, contribuindo para a criação de soluções inovadoras às questões colocadas, através do desenvolvimento de novos processos e tecnologias e à aplicação prática dessas soluções, bem como na participação das intervenções regulamentadoras que lhe criarão o enquadramento jurídico-legal apropriado, que salvguarde a segurança das pessoas e do ambiente.

Podemos representar estas quatro funções básicas de acordo com o esquema seguinte, bem como as suas interações.



Neste esquema representamos as funções básicas da engenharia, acrescentando às tradicionais funções de concepção e execução, as “novas” de inovação e regulamentação. O exercício da profissão de engenheiro será realizado combinando as 4 funções representadas, embora com uma centralidade distinta para cada uma das grandes áreas de actuação. Assim, um engenheiro de projecto terá como função principal conceber as soluções de engenharia adequadas ao problema que tem que resolver, mas sem descurar as outras funções, pois sabe que a solução que preconizar

tem que ser exequível técnica e economicamente, estar de acordo com os regulamentos que asseguram a protecção de pessoas, bens e do ambiente e acolher as soluções mais avançadas disponíveis. Já um engenheiro de produção ou operação terá como função principal concretizar o projecto de que está encarregado, mas sem ignorar a inovação permanente que se vai desenvolvendo na sua profissão, no pleno respeito dos regulamentos e normas de boas práticas aplicáveis.

Uma das características da nova economia do conhecimento é a da necessidade de uma permanente inovação nos métodos, nos produtos e na organização, reclamando para os seus interpretes uma atitude de constante procura de novas soluções, o que levou ao desenvolvimento de carreiras profissionais centradas na investigação tecnológica e que representamos pelo vértice inovação. Mais uma vez realçamos a necessidade desta função principal ser desenvolvida em articulação com outras como norma de bom desempenho das tarefas. Às funções referidas acrescentamos a função regulamentação, pois a complexidade crescente das actividades e das tecnologias reclama a existência de um enquadramento normativo-legislativo adequado, que garanta, por um lado, a existência de condições que não constituam entrave à actividade económica ou desincentivo à modernização e inovação, mas assegurem, por outro lado, a adequada protecção das pessoas e do ambiente. Esta função confere uma grande importância ao engenheiro que trabalha para a administração pública, quer na preparação, quer na aplicação dos regulamentos e normas aplicáveis, os quais, se bem concebidos podem constituir um factor de inovação e modernização sectorial, do mesmo modo que, no caso oposto, constituirão um obstáculo ou mesmo uma barreira a essa evolução. Como exemplo desta abordagem referiremos a preparação da directiva sobre aterros mineiros da UE: esta foi elaborada por uma equipa de investigadores do JRC, sediado em Sevilha, em diálogo alargado com todos os "stakeholders" (grupos de interesse).

A recente alteração da organização do ensino superior da UE (o designado processo de Bolonha) veio introduzir uma hierarquia nestas funções. Assim, passa a existir um primeiro ciclo de ensino universitário, com a duração de 3 anos, findo o qual o seu frequentador fica habilitado com um diploma de licenciatura e pode iniciar uma carreira profissional na sua área de especialidade. Ao fim de alguns anos de trabalho pode regressar à universidade para obtenção do grau de mestrado, o qual tem uma duração de 2 anos. Algumas escolas optaram por um plano integrado, podendo os seus frequentadores seguir um ciclo integrado de estudos, com a duração de 5 anos, findo os quais ficam habilitados com um diploma de mestrado.

A questão central para o futuro das actuais engenharia de minas e engenharia geológica é, pois, a de concentrar e desenvolver as competências necessárias para o desempenho de um papel central na nova economia dos georrecursos, habilitando-a a ter uma posição de

coordenação de todas as especialidades envolvidas (e muitas são e não exclusivamente tecnológicas!). O insucesso nesta transformação significará que os projectos de engenharia envolvendo georrecursos serão projectos de "engenharia vária", nos quais os actuais engenheiros de minas e engenheiros geólogos assumirão um papel de especialistas inter pares, ainda que de espectro necessariamente mais abrangente do que actualmente, mas sob a coordenação da especialidade que melhor se situar relativamente ao baricentro das competências necessárias.

Este é, na nossa opinião, o desafio que as actuais escolas de engenharia terão que enfrentar e vencer.

**INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA ACTIVIDAD MINERA  
CON BASE EN EL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO: CONFLICTOS  
ENTRE EL SUELO - SUBSUELO Y CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL  
TERRITORIO PARA LA MINERÍA**

*Alejandra Ortega  
Colombia*

---

**INTRODUCCIÓN**

Ante la importancia que representa la industria minera para el desarrollo de Colombia y de Iberoamérica, y dada la tendencia expansiva del sector, las autoridades ambientales y territoriales y el sector minero demandan herramientas que aporten criterios para la toma de decisiones con relación a la planificación y ordenación de zonas con potencial minero. De tal manera, la actividad minera puede incorporarse y articularse a los procesos de planeación del desarrollo y ordenamiento del territorio, de modo que genere menor conflicto con los usos del suelo y con otro tipo de actividades económicas.

En este estudio se presenta un instrumento metodológico para la planificación y ordenación de territorios con potencial minero, constituido básicamente por dos análisis, el de Conflicto entre el suelo y subsuelo, y el de Capacidad de acogida del territorio para la minería; y el resultado de su aplicación en la zona minera de la empresa Mineros S.A., en el Municipio de El Bagre (Antioquia, Colombia).

La propuesta metodológica se basa en la aplicación de técnicas de Análisis Multiobjetivo –AMO– (Método de las Jerarquías Analíticas y Método de los Promedios Ponderados) y de Sistemas de Información Geográfica –SIG–. Con el primer elemento (AMO) se facilita la evaluación de alternativas a la luz de múltiples criterios en conflicto, y la incorporación de la estructura de preferencias de varios actores. El segundo instrumento (SIG) permite la consideración de atributos espaciales, lo que hace de la metodología una herramienta para la planificación de procesos de naturaleza espacial como es la ordenación del territorio.

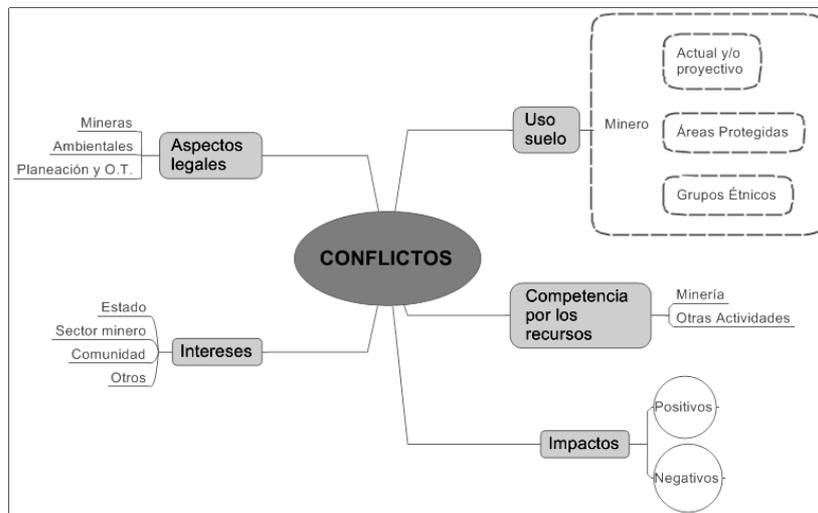
**CONFLICTOS DE USO ENTRE EL SUELO Y SUBSUELO**

El proceso de ordenación del territorio que considere los recursos minerales se enfrenta a un conflicto entre los distintos intereses y demandas sociales que se plantean sobre estos bienes (Ver Figura 1). Sobresalen los intereses del sector minero por explotar tales recursos; los del Estado como propietario del subsuelo y regulador de la explotación minera; y los de la comunidad que tiene una identidad propia con los recursos y ve en su extracción, además de un medio de subsistencia, una acción predatoria de la base natural de su territorio. Por añadidura, existen intereses por parte de grupos al margen de la ley que pugnan por su control y explotación.

Se establece también que de la relación entre la minería y el ambiente surgen otro tipo de conflictos: los de los impactos que afectan al medio natural y socioeconómico. Resultan impactos positivos como la generación de empleo, de impuestos, y mejoramiento de infraestructura; y efectos negativos como la contaminación de los cuerpos de agua, degradación de los suelos, alteración del paisaje, entre otros.

También, están los conflictos entre el suelo y el subsuelo, los cuales se presentan entre los usos actuales o proyectivos del suelo y el potencial geomínero. En este caso, el nivel de conflictividad es mayor cuando zonas con importante potencial minero se traslapan con territorios indígenas o de comunidades negras; áreas de manejo especial como los parques nacionales naturales; y centros poblados; entre otros.

Es relevante mencionar que en Colombia la resolución de algunos conflictos, como el que se presenta entre la minería y los humedales, se dificulta por la incoherencia entre la normatividad minera y la legislación ambiental y territorial. De igual manera, la desarticulación institucional entre el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial obstaculiza la resolución de conflictos de intereses.



**Figura 1 - Conflictos de la ordenación territorial de zonas mineras**

Entre las herramientas básicas para la ordenación de zonas mineras, está el análisis de los conflictos entre el suelo y el subsuelo, análisis que conduce a la identificación y selección de las variables "contradictorias" del proceso, las cuales serán utilizadas en el modelo de evaluación multicriterio.

Para este análisis existen varios escenarios relacionados a los posibles conflictos del subsuelo con los usos del suelo. Estos escenarios son bastante dinámicos porque dependen de variables como el potencial minero, cuyas categorías cambian con las fluctuaciones en los precios de los minerales y con el conocimiento que se va adquiriendo del depósito mineral.

Es así como el mapa de conflictos se construye a partir de la combinación del mapa de potencial minero y el mapa de usos del suelo mediante la aplicación de reglas de decisión (funciones heurísticas). Estas reglas permiten valorar la información en función del nivel/grado de conflictividad. Es posible definir, según el criterio de los analistas, distintas reglas de decisión que producirán, a su vez, distintos escenarios de conflicto. Este mapa será de gran interés para detectar un *primer nivel de conflictos*.

Para *el área de estudio* se construyen tres escenarios de conflicto entre el suelo y el subsuelo: Conflictos con el uso proyectivo del suelo, con el uso actual del suelo y el escenario de conflicto con el uso potencial del suelo. Las categorías usadas para definir el nivel de conflicto son: Muy alto, alto, medio, moderado, bajo, muy bajo, no existe, y no aplica.

Por ejemplo, para determinar la conflictividad de la actividad minera frente a los usos actuales del suelo, se identifican dos grupos: El primero que corresponde al uso que se da a la cobertura; y el segundo, a la cobertura como tal.

Para definir el grado de conflictividad se tienen en cuenta los siguientes criterios: Para el primer grupo, la vocación de la zona: Protección o producción; y el tipo de suelo: Urbano o rural; y para el segundo, el potencial biótico de la cobertura, cuya escala de valoración propuesta para este estudio es:

**Tabla 1 - Valoración del potencial biótico de la zona de estudio**

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Valor del potencial biótico</b>
Cuerpos de agua	5
Bosque natural maduro intervenido	5
Rastrojo alto	3
Rastrojo bajo	3
Pastos manejados	1

En este sentido, el mapa de conflictos con el uso actual del suelo (Figura 2) se construye a partir de la superposición de los mapas de potencial minero y de uso actual del suelo, siguiendo las reglas de decisión presentadas en la Tabla 2. Por ejemplo, las zonas con vocación conservacionista, como las áreas de protección y recuperación de suelos,

agua y flora (RBBPT) que se traslapan con zonas de potencial alto de oro, tienen un uso actual caracterizado por su alta conflictividad con el uso minero.

**Tabla 2 - Reglas de decisión para la definición de los conflictos con los usos actuales del suelo**

POTENCIAL MINERO DE ORO	USO ACTUAL DEL SUELO															
	Uso que se da a la cobertura															
	RABPDT	RBBPT	RATP	RBTP	PNMEGE	CN	CNC	MU	MAEAM	MPFEM	SDAEMMI	BNMI	RA	RB	CA	PM
Alto	alto	alto	muy bajo	muy bajo	moderado	alto	no existe	no existe	no aplica	no aplica	alto	medio	alto	medio	alto	muy bajo
Medio alto	medio	medio	bajo	bajo	no existe	medio	no existe	no existe	no aplica	no aplica	medio	moder.	moder.	moder.	medio	muy bajo
Sin potencial	no existe	no existe	no existe	no existe	no existe	no existe	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no existe					

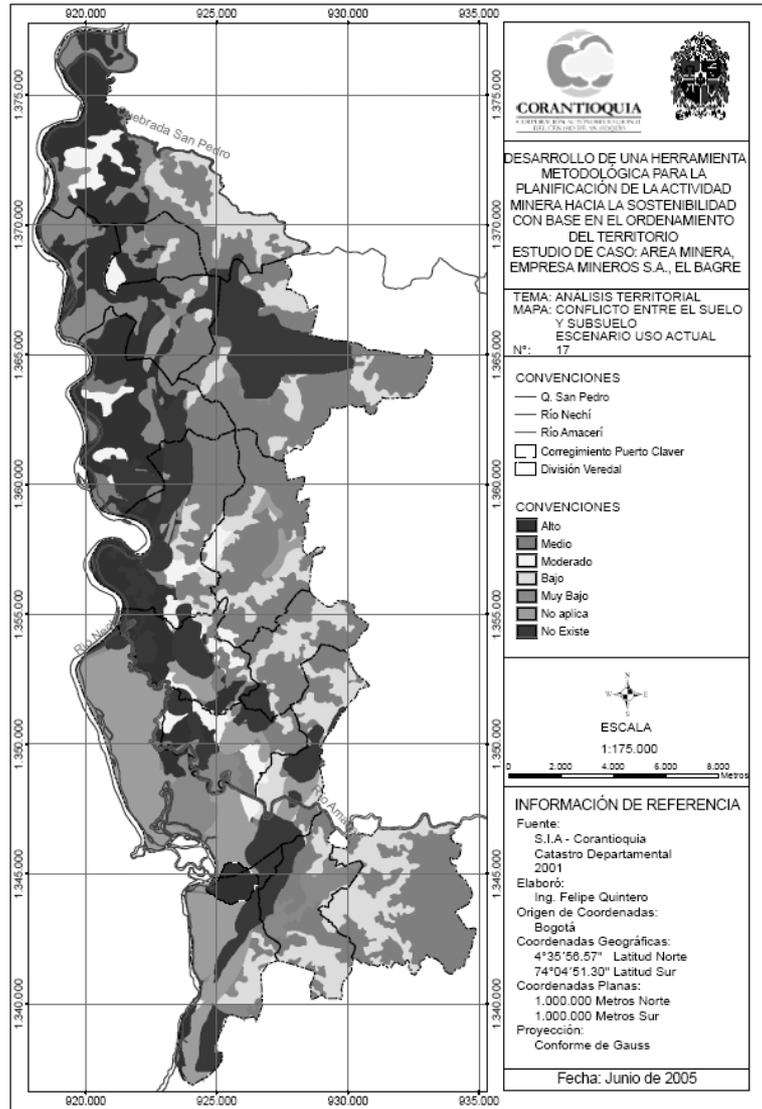


Figura 2 - Conflicto entre el suelo y subsuelo. Escenario uso actual

## CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO PARA LA MINERÍA

Otro indicador que soporta la toma de decisiones en la zonificación de áreas mineras es la evaluación de la capacidad de acogida. Esta cualidad define la idoneidad del territorio con respecto a la minería, integrando variables como los impactos generados por ella, los factores que determinan la aptitud del medio para la minería y las restricciones del territorio para que se lleve a cabo esta actividad. La capacidad de acogida expresa la relación actividad-territorio y proporciona un método para lograr la integración de ambos aspectos; en otras palabras, indica y representa el mejor uso que puede hacerse del territorio desde la perspectiva de las actividades que en él se pueden dar y la del medio mismo. Ésta es la acepción que de capacidad de acogida se asume en el presente trabajo.

La determinación de la capacidad de acogida del territorio respecto a la actividad minera se lleva a cabo aplicando un modelo Impacto/Aptitud, ya que éste ofrece la posibilidad de considerar ambos elementos en un mismo proceso. Se logra así una evaluación integral del problema y, como valor agregado, dicho modelo es desarrollable en un entorno SIG apoyado por técnicas de análisis multicriterio. Los dos elementos que definen el modelo representan, por un lado, el efecto de una actividad sobre el territorio, o sea el *impacto*; y por otro, la medida en que el medio cubre los requisitos de localización de una actividad, es decir, la aptitud (Gómez, 1994).

Así, a partir del objetivo único, *delimitar aquellas zonas más aptas, menos aptas y no posibles para el desarrollo de la minería*, se definen cada una de las variables a ser tenidas en cuenta para este modelo de evaluación multicriterio: Las restricciones<sup>16</sup> y criticidades<sup>17</sup> ambientales, los factores de aptitud y los factores del medio susceptibles de recibir impactos. Las restricciones y criticidades ambientales de la zona de estudio para la minería son: Como restricciones, las ciénagas; y como criticidades, la reserva forestal del Magdalena (criticidad alta) y el corregimiento de Puerto Claver (criticidad media alta). Los criterios considerados para la evaluación del impacto son: El uso potencial del suelo analizado desde la productividad agrícola, la cobertura vegetal desde la biodiversidad, y el uso actual del suelo estudiado desde el índice de conflictividad. Por otra parte, el factor tenido en cuenta para la evaluación de la aptitud es el potencial minero.

Una vez definidos los factores de aptitud y de impacto se procede a valorar las categorías inventariadas de cada factor. Para establecer estos valores se aplica el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP: The Analytic

---

<sup>16</sup> Para este estudio se entiende por restricción, una serie de circunstancias que hacen imposible la realización de un proyecto minero en una región dada.

<sup>17</sup> Para el presente proyecto se entiende por criticidad, aquellos aspectos que dificultan en mayor o menor grado la implementación de un proyecto minero en una determinada zona.

Hierarchy Process), método que consiste en construir para cada criterio (de impacto o aptitud) una matriz donde el número de filas y columnas está definido por el número de clases del criterio a valorar; así se establece una comparación entre parejas de clases, valorando en términos relativos la aptitud de un territorio para acoger una determinada actividad, o el impacto que se produciría sobre el territorio con la implantación de ésta.

Como ilustración, se presenta la *valoración del criterio de uso actual del suelo* según el índice de conflictividad, el cual es producto del análisis de los conflictos entre el suelo y subsuelo. En la Tabla 3, se presenta la escala de valoración de las clases del mapa de uso actual de la zona de estudio, en función del nivel de conflicto.

La determinación del impacto de las categorías del mapa de uso actual se basa en la consideración de que cuanto mayor es el índice de conflictividad, mayor será el impacto generado por la actividad minera. A partir de esto se puede establecer la matriz de comparación entre pares de clases para obtener los valores (Xij) de impacto en esta capa (ver Tabla 4).

**Tabla 3 - Valoración de las clases del mapa de uso actual del suelo en términos del índice de conflictividad**

<b>Uso actual del suelo</b>	<b>Índice de conflictividad</b>
RESERVA FORESTAL	Alto
CNNCMU	Alto
RABPDT	Alto
RBBPT	Alto
BNMI	Alto
RA	Medio
RB	Medio
PNMEGE	Moderado
RATP	Muy bajo
RBTP	Muy bajo
PM	Muy bajo
MAEAM	No existe
MPEFM	No existe

**Tabla 4 - Matriz para la valoración del impacto de las clases del criterio uso actual del suelo para el uso minero a través del AHP (CR = 0,03)**

Clases	RABPDT	RBBPT	CNNCMU	BNMI	RA	RB	PNMEGE	RATP	RBTP	PM	Res. For.	MAEAM	MPEFM	Xij
RABPDT	1													0,1023
RBBPT	1	1												0,1023
CNNCMU*	2	2	1											0,1747
BNMI	1	1	1/2	1										0,1023
RA	1/2	1/2	1/4	1/2	1									0,0652
RB	1/2	1/2	1/4	1/2	1	1								0,0652
PNMEGE	1/3	1/3	1/5	1/3	1/2	1/2	1							0,0436
RATP	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1						0,0286
RBTP	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1					0,0286
PM	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1	1				0,0286
Res. For.*	3	3	2	3	4	4	5	8	8	8	1			0,2336
MAEAM	1/7	1/7	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/9	1		0,0125
MPEFM	1/7	1/7	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/9	1	1	0,0125

Ya definidos los valores de impacto y de aptitud, se procede a transformar los mapas de los criterios en mapas de impacto y de aptitud, por medio de la reclasificación de las categorías nominales en datos ordinales correspondientes a estos valores, los cuales son resultado de la comparación de importancias relativas entre las categorías lingüísticas.

Para cada uno de estos mapas de aptitud e impacto, se plantean dos evaluaciones distintas, una para el desarrollo de la capa de aptitud global y otra para la de impacto global. La construcción de estos mapas de valores *agregados* implica una *evaluación multicriterio*, cuyo objetivo, en el caso del mapa de impacto global, es determinar el efecto general que produciría la implantación de la minería en los factores del territorio evaluados.

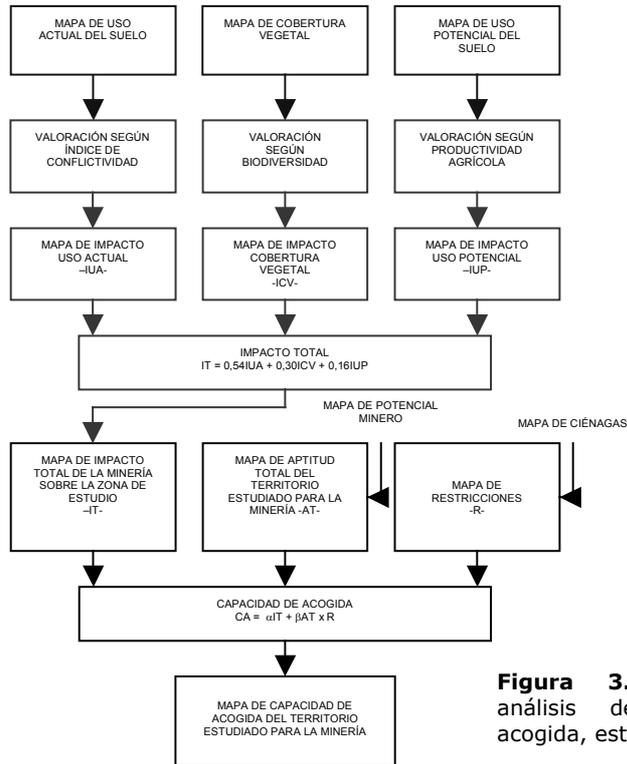
El método utilizado para la asignación de los pesos de los factores/criterios es el de las Jerarquías Analíticas (AHP), el cual ya fue descrito como una técnica para la valoración de las clases de los criterios. En este caso, la matriz de comparación se construye entre pares de factores, confrontando la importancia de uno sobre cada uno de los demás.

Para la integración de las variables se usa el método de los promedios ponderados, que es el de más amplio uso entre los métodos de análisis multiobjetivo. Este procedimiento consiste en la sumatoria de los valores de los criterios multiplicados por su importancia relativa.

Una vez generadas las capas globales de aptitud e impacto, el siguiente paso es integrarlas. En este caso, la capa de aptitud y la de impacto se expresan como criterios de una nueva evaluación: La capacidad de acogida, cuyo objetivo es clasificar el territorio en distintos niveles de idoneidad para la localización de la actividad minera (ver Figura 3:

Diagrama del análisis de la capacidad de acogida, estudio de caso). Por ejemplo, para la zona de estudio se construyen tres escenarios de capacidad de acogida: Escenario intermedio, donde la aptitud y el impacto tienen el mismo nivel de importancia; Escenario productivo, donde se asigna el mayor peso a la aptitud, 70%, y 30% al impacto; y Escenario conservacionista, cuyos pesos de los criterios son 70% impacto y 30% aptitud.

Toda esta evaluación permite construir un mapa donde se zonifica el territorio en función de su capacidad de acogida para la minería. Para este mapa (Mapa de Ordenamiento Minero) se proponen tres categorías: Zonas explotables, son aquellas áreas que presentan capacidad de acogida alta y media; Zonas explotables con limitantes, definidas con base en el criterio de zonas de capacidad de acogida baja y muy baja; Zonas no explotables, son aquellas áreas donde no es recomendable la explotación minera: Zonas que presentan alta incompatibilidad con otros usos del suelo (zonas restrictivas) y zonas sin potencial aurífero.



**Figura 3.** Diagrama del análisis de capacidad de acogida, estudio de caso

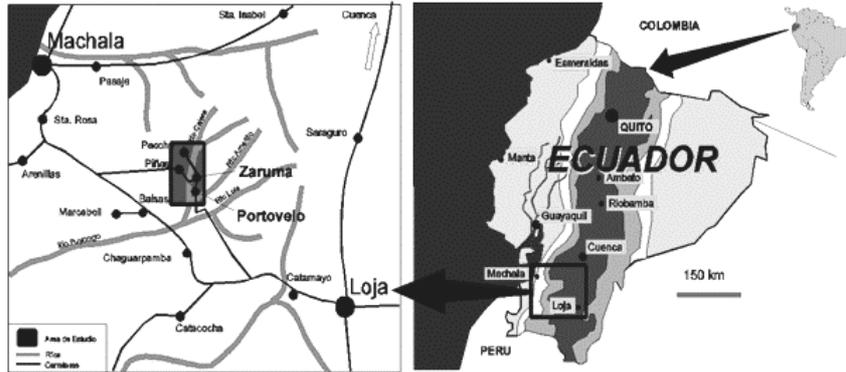
## CONCLUSIONES

1. Los indicadores: Conflictos de uso entre el suelo y el subsuelo, y Capacidad de acogida del territorio para la minería; aportan criterios para la toma de decisiones sobre el *aprovechamiento sostenible* de los recursos mineros, ya que resultan de un análisis integral del territorio donde se evalúan, respectivamente, los niveles de conflicto con la industria minera, y las potencialidades y restricciones para que se lleve a cabo dicha actividad. Estos indicadores sirven de apoyo al proceso de toma de decisiones de las empresas mineras, la autoridad ambiental, y la autoridad territorial.
2. El análisis de los conflictos de uso entre el suelo y el subsuelo de una zona minera o en territorios con potencial geológico para su desarrollo, permite identificar aquellas áreas más conflictivas con la minería, frente a las cuales se deben tomar medidas que permitan, hacia el futuro, desarrollos mineros de *menor impacto ambiental* reflejado en la disminución de estos conflictos.
3. El mapa de ordenación de zonas mineras constituye un instrumento básico para la incorporación de los recursos minerales y la actividad minera en los planes de ordenamiento territorial, ya que permite diferenciar y delimitar, en función de la *capacidad de acogida del territorio para la minería*, áreas donde no es recomendable la extracción minera y áreas con diferentes prioridades para la explotación de los recursos minerales.

## LA PROBLEMÁTICA SOCIOAMBIENTAL EN LA ZONA MINERA DE ZARUMA Y PORTOVELO

Vilma Dolores Pazmiño Quiña  
Ecuador

Se sabe que las minas de oro de Portovelo, en lo que a época hispánica se refiere, se explotan desde 1557, aunque luego de que se desmantelara el poblado de Asiento de Minas no existió oficialmente un poblado.



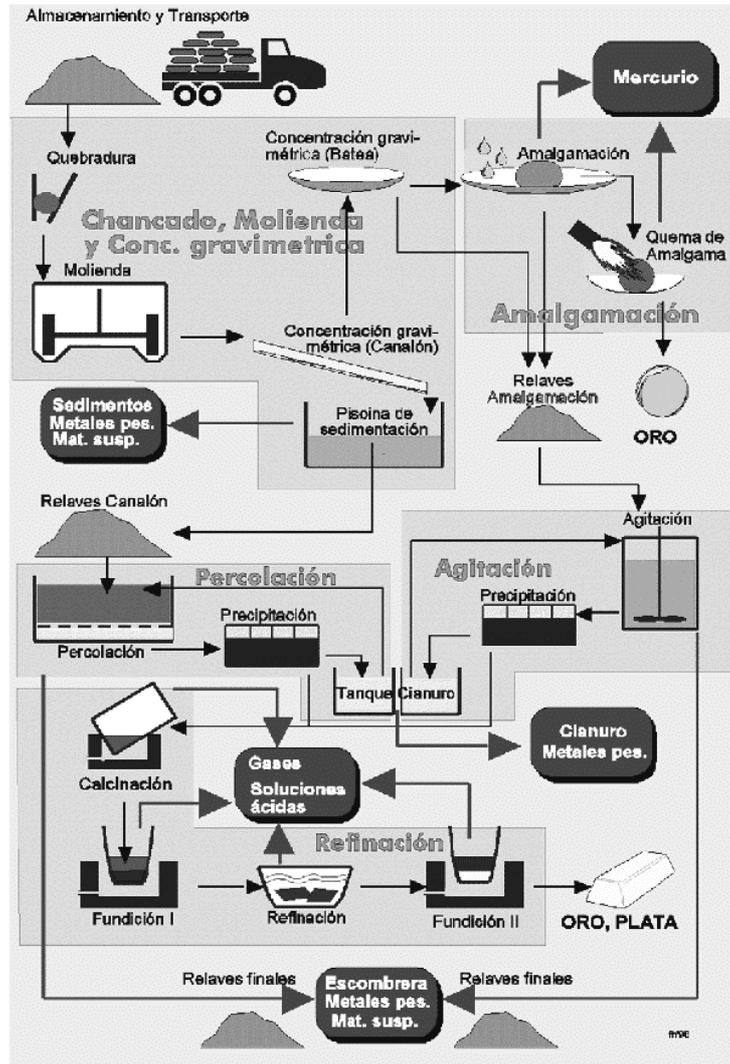
Portovelo volvió a cobrar vida a partir de 1896, cuando se estableció en el lugar la compañía estadounidense South American Development Company (Sadco), que con el oro del sector se convirtió en una de las empresas mineras más poderosas del mundo. Fueron los estadounidenses quienes reconstruyeron oficialmente el pueblo.

Durante los años en que la Sadco permaneció en el sector, Portovelo adquirió reputación mundial por su riqueza.

En la actualidad la zona está dominada por aproximadamente por 3000 mineros que se dedican a realizar labores mineras artesanales tanto en la extracción del oro desde las galerías elaboradas por ellos mismos o por anteriores mineros o empresas mineras que antes estuvieron en la zona.

Otra actividad que realizan los mismos mineros mayoritariamente o sus familias son las de recuperación de oro de sus propias galerías o de mineros que no cuentan con plantas de tratamiento, en la zona actualmente se calcula la presencia aproximada de 60 plantas de cianuración que trabajan todos los días del año y la mayoría de ellas las 24 horas del día.

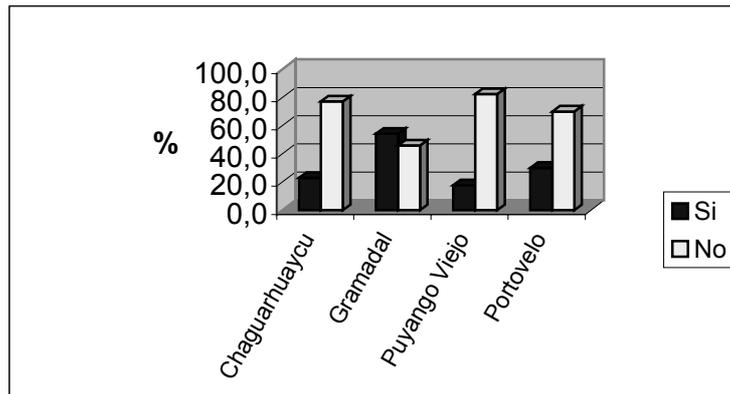
Si bien es cierto estas son poblaciones mineras que lo mejor que saben hacer por tradición y de generación en generación es la actividad minera y específicamente la del oro, con métodos de extracción subterránea y recuperación en base a amalgamación con mercurio o cianuración mediante lixiviación.



Los procedimientos utilizados por los mineros trae graves consecuencias sobre el ambiente y lo más importante sobre la salud de ellos, sus trabajadores, sus familias y el área de influencia.

Es preocupación del gobierno, de la población civil y de otras instituciones no gubernamentales, proceder con la búsqueda de soluciones ante magno problema socio ambiental, el mismo que engloba impactos ambientales y sociales potenciales, considerándole primeramente y como se mencionó la salud de los habitantes locales y regionales, en segundo lugar esta el alto grado de contaminación que se genera con las descargas de las plantas de cianuración, las cuales descargan en su gran mayoría directamente sobre los lechos de los ríos Calera Y Amarillo, los cuales se encuentran totalmente muertos.

De acuerdo a investigaciones realizadas por Funsad Fundación Salud Ambiente y Desarrollo en su informe de LA PEQUEÑA MINERÍA DEL ORO: IMPACTOS EN EL AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA EN LA CUENCA DEL PUYANGO, SUR DEL ECUADOR, se puede observar que al año 2001 el porcentaje de uso de mercurio en la zona es alto, como se ve en el gráfico.



El uso de mercurio desde décadas atrás en esta zona esta actualmente evidenciando graves problemas de salud en especial en la población infantil.

La investigación cubre la cuenca del Puyando.



Otro aporte importante en esta investigación y que se encuentra en discusión actualmente es el uso del cianuro sin ningún manejo técnico del mismo.

El cianuro es otro de los contaminantes que se encuentra en las arenas de las plantas de beneficio, luego de las fases de trituración, molienda y precipitación gravimétrica.

El cianuro que se incluyen en las piscinas de percolación y tanques de agitación se encuentra en forma de cianuro de sodio ( $\text{NaHCN}$ ). Los trabajadores de las plantas son los más expuestos, sin embargo, los vapores y gases que se desprenden invaden las zonas aledañas a las plantas.

Las arenas, de las que se extrajo el oro, son eliminadas a los ríos con altos contenidos de cianuro, ocasionando serios impactos en los seres vivos del río, especialmente en los peces y eventualmente en la salud de la población ribereña.

En la cuenca baja, a pesar de que existen personas que lavan oro, el cianuro no es incluido en el proceso para la recuperación de este metal.

Se conoce bastante sobre los efectos en la salud por la exposición aguda al cianuro.

Existe todavía muchos vacíos para la exposición crónica y a magnitudes relativamente bajas.



De la determinación de tiocianato en 214 personas, 79 tienen niveles elevados, que representan al 37% de la población estudiada. De este grupo el 63.5% corresponde a Puyango Viejo, 31.2% a Portovelo y 15.3% a Chaguarguaycu. Es interesante observar que ninguna de las personas del extremo distal de la cuenca (cuenca baja) tiene niveles elevados de tiocianato.

En 1993 la Agencia para la Cooperación y Desarrollo del Gobierno Suizo, COSUDE inició el Proyecto Minería sin Contaminación (PMSC) en la zona de Portovelo-Zaruma. Puso especial atención en los problemas técnicos, legales, ambientales y sociales de la minería aurífera. .

Al concluir este proyecto en el año 1999, se lograron interesantes resultados que permitieron poner en marcha soluciones para ayudar a minimizar el impacto ambiental en las fuentes.

El PMSC fue gestor de nuevas experiencias y motivó el surgimiento de otras iniciativas como el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), realizado por el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, con un préstamo del Banco Mundial.

El PRODEMINCA, que está por concluir en el presente año (2001), trabajó en varias zonas mineras, abordó aspectos legales (Ley de Minería y Reglamentos), realizó monitoreo ambiental de áreas mineras en el Sur del Ecuador, asistencia técnica al minero, capacitación y difusión de soluciones ambientales para la minería del oro.

A pesar de estos importantes aportes, no se incluyó el estudio de la dinámica de los contaminantes (Hg, Pb, Mn, Cu, Pb, Zn) ni de los impactos en la salud en la cuenca baja del Puyango, donde se asientan comunidades que tienen relación directa con el agua contaminada del río.

El problema actual se agudiza con el incremento del precio del oro en el mercado, por lo que los mineros han retomado la explotación inapropiada del mineral que prácticamente se encuentra bajo zonas altamente pobladas, lo que genera altos riesgos de deslizamientos como los que ya se han dado en Zaruma el mes de marzo de este año.



En cuanto a las plantas de cianuración el Ministerio de Energía y Minas con el afán de encaminar alguna solución viable al problema de contaminación por descargas y el uso abusivo de cianuro, así como el indiscriminado desperdicio del recurso mineral que al no ser aprovechado técnicamente, es arrojado con los relaves en proporciones aproximadas del 40 %, ante esto el Ministerio ha elaborado unos términos de referencia para la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental Conjunto, en el que se refiere a 4 sectores entre las zonas de Zaruma y Portovelo, estos términos de referencia abarcan todas las temáticas necesarias para elaborar un EIA bastante completo y esperando obtener como resultado un Plan de Manejo Ambiental que contemple todas las medidas que permitan la mitigación de los actuales impactos ambientales.

El problema en este caso radica en que es una población que practica la minería artesanal y mientras no haya un organismo o un ente gestor de recursos económicos para la elaboración de este estudio, los mineros no están en capacidad ni técnica ni económica para realizarlo, por otro lado los conflictos sociales existentes, no permiten que se lleguen a acuerdos sobre el tema.

En todo caso la solución de este problema no empieza precisamente por la realización de un estudio mas que si bien es cierto es necesario, existen muchos estudio y muchos recursos invertidos en la zona y cuya temática siempre es la misma.

Es importante realizar un proyecto global e interinstitucional tomando como base toda la información existente y realizada tanto por

entes gubernamentales como por instituciones particulares e investigadores, así como por los mismos concesionarios de áreas mineras y planta de tratamiento, este proyecto debe plantear un proceso de concientización y capacitación a los mineros, población local y autoridades locales, acompañado de una investigación técnica de sitio.

Las plantas de cianuración asentadas en Zaruma y Portovelo procesan entre 1 y 70 toneladas de roca al día, la roca ingresa desde la mina y entra en la trituradora, luego pasa a la molienda y desde aquí ya recibe el cianuro, luego pasa a tanques de cianuración, las arenas que salen de estos tanques son descargadas en la mayoría de los casos en el lecho del río como se mencionó antes.

El proceso de recuperación de las áreas debe incluir a más de la capacitación una implementación de tecnologías que permitan calibrar a las plantas para el uso adecuado y una alta recuperación de oro en las mismas, por esto es importante investigar cada una de las plantas existentes, luego de esto se puede proceder a plantear una readecuación de cada planta y en el peor de los casos el cierre o cambio de aquellas plantas que recuperen porcentajes menores al 50%.

Al mismo tiempo de proceder con la capacitación e investigación técnica de los procesos metalúrgicos usados en estas zonas es importante identificar a cabalidad los impactos ambientales generados hasta ahora, porque estos impactos no solo son consecuencia de las actividades actuales sino que vienen arrastrándose desde la historia.

Una vez identificados y valorados los impactos se puede ya proceder con el planteamiento de las soluciones sociales y ambientales, centrándose mayoritariamente sobre la salud humana, los conflictos sociales, la descontaminación y eliminación de las causas contaminantes sobre el agua, el suelo, aire y recursos bióticos que existen a nivel local y regional.

A simple vista se puede considerar como impactos potenciales en la zona, el mal uso del recurso mineral, que al ser no renovable la pérdida por la práctica minera artesanal es invaluable, otro impacto importante es el alto grado de contaminación del agua que involucra no solo a las cencas donde se descarga directamente las arenas de los procesos sino que es un problema regional involucrando a la cuenca del río Puyango, el mismo que se dirige al Perú, el contenido de sólidos y restos de soluciones de cianuro es alto, además se debe considerar como pasivo ambiental sobre el recurso agua y suelo la presencia de mercurio.

Sobre el recurso suelo se genera un cambio de uso, contaminación por descargas y arenas cianuradas, un elevado incremento en los procesos erosivos, y grandes deslizamientos.

En el aire es fácil detectar la presencia de cianuro, se perciben fuertes olores, el paisaje de la zona ha sido totalmente cambiado.

Conjuntamente con estos impactos se genera impactos potenciales sobre la flora y fauna del sector siendo el más afectado el recurso de fauna acuática que en los ríos donde se descargan las plantas de cianuración prácticamente han desaparecido.

El lo que respecta a la salud humana como se mencionó las secuelas de la minería practicada desde la época de los americanos hasta la actualidad es muy evidente en la zona, los conflictos sociales, entre empresas, mineros, familias y poblaciones es preocupante.

Con la aplicación del proyecto propuesto en este artículo es factible ir solucionando mitigando y remediando los impactos mencionados.

Todo lo planteado se lo debe hacer bajo un marco de gestión interinstitucional y multidisciplinaria, que conlleve a la implementación de tecnologías limpias en los procesos metalúrgicos de recuperación de oro.

Los principales actores obviamente son los mineros, dueños y operadores de las plantas de cianuración, las empresas mineras que existen en la zona, entre ellas IAM GOLD, Nevada Gold, Dynasti entre otras, las autoridades locales, las Cámaras de Minería de Zaruma y Potovelo y la sociedad civil en general, considerando también al ente regulador que en este caso es el Ministerio de Energía y Minas.

Es importante considerar que la solución de este problema nos compete a todos los conocedores del tema, es por esto que el evento que se esa proponiendo sobre tecnologías limpias puede aportar enormemente a ellos.



# **Capítulo 4**

## **Garimpos e Produção Limpa Pequeña Minería y Producción Limpia**

---

## **LA PEQUEÑA MINERÍA EN EL PERÚ**

Ana Villegas  
Peru

---

### **1. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL PERÚ**

En la evolución de la implementación de tecnologías limpias en el Perú ha sido determinante la evolución de la normatividad ambiental, hace aproximadamente 20 años, en el Perú, no existía una normativa socio - ambiental que permitiera el manejo y/o control de los impactos negativos generados por las distintas actividades industriales desarrolladas en el país a través de tecnologías mas limpias, dentro de ellas las actividades del sector minero metalúrgico. Los proyectos se desarrollaban priorizando aspectos económicos, dejando de lado la calidad del ambiente y la participación de las poblaciones directamente afectadas por la ejecución de los mismos.

El escenario existente en ese entonces era de la siguiente manera:

- Carencia de normatividad ambiental para las actividades del sector.
- Inexistencia de autoridad ambiental competente.
- Ausencia de conciencia ambiental en las empresas operadoras del sector.
- Fiscalización y control ambiental prácticamente inexistentes.
- Escasa capacitación de funcionarios públicos en temas ambientales.
- Comportamiento relativamente pasivo de la comunidad frente a los impactos de las actividades mineras.
- Existencia de ciertos conflictos en las relaciones entre la empresa y las comunidades impactadas por las actividades del sector.

#### ***Normas generales***

La normatividad ambiental en el Perú se inicia formalmente en 1979 y en la Constitución Política del Perú:

El Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales<sup>1</sup>, promulgado en el año de 1990, genera la abundancia de autoridades ambientales y propugna entre otros los principios de contaminador pagador y La obligación de presentar estudios de impacto ambiental por cada operación nueva.

---

<sup>1</sup> D.L. N° 613, 08 de setiembre de 1990

Se crea en el año 1994, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y su respectivo reglamento<sup>2</sup>, organismo rector de la política nacional ambiental.

Se aprueba en el año 2001, el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire<sup>3</sup>, donde se establecen los parámetros y las concentraciones máximas de éstos, que debería tener el aire. Esta norma es una herramienta que nos permite evaluar la calidad del aire como cuerpo receptor, de las emisiones generadas por las diferentes actividades productivas.

#### **Normatividad del sector minero metalúrgico**

El Ministerio de Energía y Minas (MEM), es el sector pionero en el tema ambiental, habiendo creado, en el año 1981, la Oficina de Asuntos Ambientales<sup>4</sup>, la cual inició sus funciones el 16 de diciembre de 1982, en virtud a la Ley N° 23475, como órgano de asesoramiento a la alta dirección del MEM. Si bien esta Oficina no tenía gran poder de decisión y no se contaba con amplia experiencia en este campo, fue un paso importante en la incorporación del tema ambiental dentro de los proyectos de inversión del sector minero metalúrgico.

Como consecuencia de la promulgación de normas a nivel nacional, se origina la normativa ambiental sectorial del Ministerio de Energía y Minas. En el año 1993, ya se contaba con reglamentos ambientales para todas las actividades que se desarrollan en el sector minero energético, como es el Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-metalúrgica<sup>5</sup>.

También se han definido límites máximos permisibles (LMP) para emisiones atmosféricas y efluentes líquidos, con el fin de controlar los mismos y contribuir efectivamente a la protección ambiental. Estas normas corresponden a los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos minero – metalúrgicos<sup>6</sup>; Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas<sup>7</sup>.

Con el fin de dar a los titulares de las empresas herramientas que permitan mejorar el desempeño ambiental de sus operaciones, el MEM, con el apoyo de consultoras internacionales y del Banco Mundial, publicó 28 Guías Técnicas, dentro de las cuales se encuentra el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones y el Protocolo de Monitoreo de Calidad de

---

<sup>2</sup> Ley N° 26410, 22 de diciembre de 1994 y D.S. 022-2001-PCM, 08 de marzo de 2001

<sup>3</sup> D.S. N° 074-2001, 24 de junio de 2001

<sup>4</sup> D. Leg. N° 40, de fecha 4 de marzo de 1981

<sup>5</sup> D.S. N° 016-93-EM, de fecha 01 de mayo de 1993

<sup>6</sup> R.M. N° 011-96-EM/VMM, de fecha 13 de enero de 1996

<sup>7</sup> R.M. N° 315-96-EM/VMM, de fecha 19 de julio de 1996

Agua. Asimismo, con el apoyo de la cooperación técnica internacional se prepararon las Guías para la Estandarización de Elaboración y Revisión de EIAs.

La formulación de la normativa ambiental del sector minero energético se encuentra en un proceso evolutivo lo que trae consigo una mayor exigencia a los proyectos minero metalúrgicos e implica a su vez la implementación de la mejor tecnología disponible económicamente viable a fin de minimizar los potenciales impactos en la ejecución del proyecto.

## **2. INSTRUMENTOS DE GESTIÓN EN EL CICLO DE VIDA DE LA MINA QUE PERMITIERON LA EXIGENCIA DE IMPLEMENTAR MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES.**

### ***Explotación***

El reglamento ambiental establece la presentación de Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) para actividades que se encontraban en operación al promulgarse las normas y Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para actividades nuevas. Los EIAs contienen la evaluación y descripción de los aspectos físico - naturales, biológicos, socioeconómicos y culturales en el área de influencia del proyecto, con la finalidad de determinar las condiciones existentes y capacidades del medio, analizar la naturaleza, magnitud y prever los efectos y consecuencias de la realización del proyecto, indicando medidas de previsión y control a aplicar para lograr un desarrollo armónico entre las operaciones de la industria minera y el medio ambiente.

Del mismo modo, los PAMAs contienen las acciones e inversiones necesarias para incorporar a las operaciones minero-metalúrgicas los adelantos tecnológicos y/o medidas alternativas que tengan como propósito reducir o eliminar las emisiones y/o vertimientos para poder cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos.

### ***Exploración***

La exploración de las actividades minero metalúrgicas también se encuentra ambientalmente regulada, a través de la promulgación del Reglamento ambiental para las actividades de exploración minera<sup>8</sup>.

En el Perú las exploraciones implican básicamente la realización de perforaciones diamantinas y/o labores subterráneas, en cuyos estudios ambientales se detallan todas las medidas de manejo ambiental que se implementarán durante la ejecución del proyecto de exploración. Por ejemplo se contempla el manejo de lodos, manejo de aguas ácidas, manejo de suelos orgánicos, implementación de sistemas de disposición final de residuos, entre otros.

---

<sup>8</sup> D.S. N° 038-98-EM, de fecha 30 de noviembre de 1998

### **Pequeña minería y minería artesanal**

Con el fin de adecuar ambientalmente las operaciones de la pequeña minería y minería artesanal, se aprobó la Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal<sup>9</sup> y su respectivo reglamento<sup>10</sup>, donde se establece que los pequeños productores mineros y productores mineros artesanales que se encontraban operando al momento de promulgarse la norma (enero de 2002) deberán contar con un PAMA para adecuarse a la normativa ambiental vigente y las nuevas operaciones deberán contar con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIASd) aprobado según corresponda.

A la fecha, se ha trabajado muy estrechamente con los titulares calificados como pequeños productores y mineros artesanales, se tienen guías para la elaboración de estudios ambientales considerando los diferentes tipos de explotación de minerales como por ejemplo: minería aurífera aluvial en llanuras, minería aurífera filoneana y minería aurífera en terrazas de pie de monte.

En estas guías se estableció la necesidad del uso de retortas en la recuperación del oro, manejo de residuos sólidos producidos a través de la implementación de trincheras y celdas de seguridad, estabilización de taludes, tratamiento de aguas de lavado a través de la sedimentación, disposición adecuada de relaves, entre otros, medidas dirigidas a controlar los más importantes impactos que se generan en la pequeña minería informal.

### **Cierre de minas**

En relación al cierre de minas, desde el año 1993, en el Reglamento de protección ambiental de las actividades minero – metalúrgicas<sup>1</sup>, se norma la presentación de planes de cierre para las operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto, contemplando medidas que garanticen la estabilidad del terreno, revegetación (de ser el caso) y medidas para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua. Recientemente se ha promulgado la ley que regula el cierre de minas<sup>11</sup>, estableciendo principalmente la constitución de garantías ambientales, para cubrir los costos de las medidas de rehabilitación para los periodos de cierre final y post cierre.

En los Planes de Cierre ya se viene incorporando el concepto de estabilidad física y química a largo plazo, para lo cual entre otros se evalúan las diferentes alternativas de cierre, por ejemplo si utilizar el tratamiento pasivo (en el Perú se tiene experiencia en la implementación

---

<sup>9</sup> Ley N° 27651, de fecha 24 de enero de 2002

<sup>10</sup> Decreto Supremo N° 013-2002-EM, de fecha 24 de abril de 2002

<sup>11</sup> Ley N° 28098, de fecha 14 de octubre de 2003

de wetlands) o activo (planta de neutralización) de efluentes mineros, que tipo de tapón utilizar en el cierre de bocaminas, que uso final se dará a los suelos del área de cierre, entre otros.

Finalmente, las empresas en el Perú consideran en sus proyectos mineros la implementación de la mejor tecnología disponible económicamente viable, a fin de cumplir con los requerimientos ambientales cada vez más exigentes, lo que es verificado a través de los diferentes instrumentos de gestión ambiental descritos. Lo anterior ha venido contribuyendo de manera significativa en el cuidado del medio ambiente en las diferentes regiones del país.

### **3. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LOS PAMAS DE PPM Y PMA – MADRE DE DIOS**

El Ministerio de Energía y Minas trabajó muy estrechamente con los Pequeños Productores Mineros y Mineros Artesanales, se contrataron especialistas a fin de elaborar Planes de Manejo Ambiental, como los que se describen a continuación:

#### **Identificación de impactos potenciales:**

##### **Impactos Físicos**

- Contaminación de cuerpos de agua superficial y/o subterránea por el vertimiento de aguas contaminadas con mercurio, provenientes del proceso de amalgamado incluyendo el segundo clarificado; y aguas con alto contenido de sólidos suspendidos.
- Alteración de cursos de agua superficial.
- Contaminación del suelo por el vertimiento de arenillas negras contaminadas con mercurio.
- Contaminación del suelo y cuerpos de agua por derrame de hidrocarburos y mercurio.
- Erosión del suelo.
- Contaminación sonora por el empleo de motores en las operaciones mineras.
- Emisión de vapores de mercurio, generados en el proceso de refogado.
- Generación de residuos sólidos domésticos, industriales, peligrosos e inertes.
- Generación de efluentes domésticos.

##### **Impactos Biológicos**

- Afectación a especies de flora y fauna.

### **Impactos Sociales**

- Drogadicción.
- Alcoholismo.
- Prostitución.
- Conflictos por contaminación de agua y suelos.
- Generación de fuentes de empleo.

### **Plan de Manejo Ambiental:**

El plan de manejo ambiental entre otros aspectos contempla lo siguiente:

- Las aguas para consumo humano serán tratadas antes de su uso.
- Implementar un sistema de decantación de aguas utilizadas en las operaciones de beneficio: lavado, concentración gravimétrica (canaletas) y primer clarificado.
- Las aguas de amalgamado recirculadas al proceso tendrán un tratamiento de filtrado en un filtro de arena graduada y luego pasarán por un filtro de carbón activado, para luego se reutilizadas en el proceso de amalgamación cuando este sea necesario.
- Para proceder a su descarga final se deben seguir los siguientes pasos:
  - \* Filtrado en tela.
  - \* Filtrado en arena graduada.
  - \* Filtrado de la solución por carbón activado.

Se debe realizar un mantenimiento de los filtros de arena y carbón activado con inyección de agua a contracorriente, por lo menos una vez al mes y/o cuando los filtros se saturen, el agua a contracorriente empleada en este proceso será recirculada a las operaciones de amalgamación.

- El titular debe tener en cuenta que dicha agua debe encontrarse por debajo de los Límites Máximos Permisibles<sup>12</sup> y las aguas del cuerpo receptor cumplir con lo que establece la Ley General de Aguas.

---

<sup>12</sup> Según lo estipulado por el Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgica (D.S N° 016-93-EM) "En los EIA y PAMA podrá proponerse normas provenientes de organizaciones internacionales, en los proyectos a ser presentados, en el caso de normas no determinadas por la normatividad ambiental o por la autoridad competente". Por tanto, para los efluentes el límite máximo permisible para el Mercurio será el valor establecido por el Banco Mundial, siendo este 0.01 mg de Hg/litro.

- Implementación de un sistema para la sedimentación de sólidos en suspensión.
- Implementación de un ambiente para realizar la amalgamación, refogado y almacenamiento del mercurio (Ver detalle en el Programa de Adecuación Ambiental, Construcción del ambiente de amalgamado, refogado y almacenamiento de mercurio).
- Las arenillas negras contaminadas con mercurio serán almacenadas temporalmente en un lugar acondicionado para tal fin.
- El refogado se realizará en retortas, esto con la finalidad de evitar la contaminación del aire por emisiones de vapores de mercurio.
- Los hidrocarburos (combustibles, aceites, grasas, etc.) se almacenarán en un lugar acondicionado para tal fin.
- Los suelos contaminados con hidrocarburos se almacenarán temporalmente en un área destinada a este fin, para su posterior tratamiento.
- Se construirá una letrina.
- La disposición final de los residuos sólidos domésticos<sup>13</sup> se realizará en una trinchera.
- La disposición final de los residuos peligrosos<sup>14</sup>: se realizará en una celda de seguridad.
- La disposición final de las arenillas negras con contenido de mercurio se realizará en una celda de seguridad.
- Se prohibirá la caza y extracción de especies de flora y fauna en el ámbito de la concesión minera, por parte de los trabajadores.
- El manejo de los aceites residuales estará a cargo de una empresa especializada autorizada por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).
- Implementación de programas de capacitación al personal en aspectos de seguridad e higiene minera.
- Revegetación de áreas deforestadas.

---

(Referencia: The World Bank Group; Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998, Washington D.C)

<sup>13</sup> Residuos domésticos como: restos de comida y similares, papeles, cartones, materiales con restos de comida y todo residuo biodegradable.

<sup>14</sup> Todo aquel residuos que posea algunas de las características descritas en el Art. N° 22 de la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos y en el Art. N° 27 del D.S N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley 27314. Incluir los materiales con residuos de hidrocarburos y otros materiales resultantes de las actividades del proyecto.

Programa de adecuación ambiental<sup>15</sup>:

El programa de adecuación ambiental comprende los proyectos de mitigación y control ambiental necesarios para adecuar las operaciones mineras al cumplimiento de la ley. En el Anexo N° 01: "Cronograma del Programa de Adecuación Ambiental", que forma parte del presente informe, se especifican para cada uno de los proyectos de adecuación ambiental el cronograma de las actividades e inversiones que deberá realizar el titular de la Concesión Minera Metálica "AMIQUE" a fin de cumplir con la adecuación ambiental de las operaciones mineras en dicha concesión, estos proyectos se describen a continuación:

### **1. Tratamiento de agua para consumo humano**

El sistema de tratamiento considerará:

- Implementar procesos de decantación y desinfección (cloración).
- Implementar un decantador para eliminar los elementos en suspensión, de acuerdo al volumen de agua a tratar.
- Para la decantación y cloración se utilizarán recipientes, cilindros, baldes plásticos limpios, etc. y libres de rajaduras o roturas.
- Dejar reposar el agua en el decantador por un tiempo mínimo de 12 horas, para asegurar una óptima sedimentación de los sólidos.
- Implementar un sistema de desinfección (cloración) con hipoclorito de sodio al 0.5% (lejía), los recipientes a utilizar para este proceso pueden ser cilindros, baldes de plásticos, entre otros, limpios, sin rajaduras y con tapa.
- Seguir las recomendaciones de la Dirección General de Salud Ambiental para el proceso de desinfección del agua.

### **2. Sistema de Decantación de Aguas**

Para la implementación de este sistema se tendrán las siguientes consideraciones:

- Los efluentes de los procesos de lavado, concentración gravimétrica, se colectarán en un punto común, donde se les aplicará un floculante adecuado.
- Estos efluentes serán tratados en pozas de sedimentación en serie, para luego ser dirigidos a cuerpos de agua superficial.
- Las dimensiones de las pozas estarán en función del caudal a tratar, tiempo de sedimentación, tipo, dilución y concentración del coagulante, tiempo y gradiente de mezcla (rápida y lenta).

---

<sup>15</sup> El plazo máximo de ejecución se puede observar en el Anexo N° 01

- Delimitar el área del sistema de tratamiento para evitar la entrada de personas ajenas a la actividad y la ocurrencia de posibles accidentes.
- Las pozas de sedimentación se ubicarán cerca de los procesos antes mencionados.

### **3. Construcción del ambiente de amalgamado, refogado y almacenamiento de mercurio**

El Ambiente de amalgamado, refogado y almacenamiento de mercurio reunirá los siguientes requisitos:

- Dimensiones exteriores e interiores adecuadas que permitan un normal desarrollo de las operaciones, sin tener problemas de espacio, para lo cual el diseño del ambiente de amalgamado y refogado presentará las siguientes dimensiones exteriores:
  - Largo: mínimo 5.0 m
  - Ancho: mínimo 4.0 m
  - Alto: mínimo 2.5 m
- Las áreas destinadas para las actividades de amalgamado, refogado y el almacén de mercurio, deberán estar claramente delimitadas dentro del ambiente indicado.
- El piso será de cemento pulido y/o, recubierto con material impermeable e inclinado hacia un punto de colección de derrames.
- Paredes, techo y una optima ventilación.
- Señales y avisos de seguridad serán colocados en lugares visibles.
- Colocar las Hojas de Seguridad MSDS del mercurio en un lugar visible del ambiente.
- La amalgamación se realizará en depósitos colocados a una altura mínima de 1.00 m del suelo.
- La base donde se ubicarán los depósitos estará rodeada por una canaleta que permita dirigir el derrame hacia un receptáculo.
- Implementar un sistema que permita recircular al proceso el agua utilizada en el amalgamado.
- El refogado se realizará utilizando una retorta colocada a una altura mínima de 1.20 m del suelo.
- La base que sostiene la retorta estará rodeado por una canaleta que encamine los derrames hacia un receptáculo.

- Los envases que contienen el mercurio contarán con tapa de cierre hermético. Asimismo, contarán con una etiqueta legible e irán colocados sobre una repisa.
- Implementar un sistema que permita recircular al proceso el mercurio utilizado, para lo cual se contará con un reactivador de mercurio, el mismo que se ubicará junto con el envase de mercurio.

#### **4. Sistema de tratamiento de agua residual con contenido de mercurio**

Se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Las aguas de amalgamado recirculadas al proceso tendrán un tratamiento de filtrado en un filtro de arena graduada y luego pasarán por un filtro de carbón activado, para luego se reutilizadas en el proceso de amalgamación cuando este sea necesario.
- Para proceder a su descarga final se deben seguir los siguientes pasos:
  - \* Filtrado en tela.
  - \* Filtrado en arena graduada.
  - \* Filtrado de la solución por carbón activado.

Se debe realizar un mantenimiento de los filtros de arena y carbón activado con inyección de agua a contracorriente, por lo menos una vez al mes y/o cuando los filtros se saturen, el agua a contracorriente empleada en este proceso será recirculada a las operaciones de amalgamación.

#### **5. Implementación de retortas**

El refogado de la amalgama se realizará en una retorta, para lo cual el personal encargado de esta actividad conocerá perfectamente el funcionamiento de la misma. Asimismo, es necesario contar con una retorta de reserva en caso una de ellas requiera ser reemplazada por mantenimiento o fallas.

#### **Reactivación del mercurio**

- La reactivación del mercurio se realizará en un recipiente de PVC, que tiene insertados dos carbones que corresponden a los electrodos positivo y negativo, y que se conectan a los respectivos bornes de una batería de 12 voltios. Esta reactivación permitirá el uso del mercurio, libre de impurezas y con toda su potencia, perdida luego después de varios usos.
- El mercurio "sucio" se coloca en el recipiente en contacto con el electrodo negativo. Se le agrega una solución de sal común al 10-15% y limón, que deberá alcanzar el nivel del electrodo positivo.

- Los terminales que salen de los electrodos se colocarán a los respectivos bornes de la batería por espacio de 12 minutos, para que se produzca la reactivación.
- Se produce una "nata" de suciedad, la cuál será dispuesta en la Celda de Seguridad para las arenillas negras.
- Se filtra, quedando el mercurio reactivado para su posterior uso.
- Cuando el mercurio ya no pueda ser reactivado, se le dispondrá en envases herméticos que luego serán llevados hacia la Celda de Seguridad para residuos peligrosos.

#### **6. Almacén temporal de arenillas negras con contenido de mercurio**

Se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Las arenillas negras contaminadas con mercurio serán embolsadas y depositadas en cilindros limpios y cerrados herméticamente, los cuales estarán rotulados indicando su contenido. Los cilindros serán conducidos hacia el almacén temporal previamente antes de su disposición final.
- El almacenamiento temporal de arenillas se realizará en un ambiente independiente de aquel destinado para el amalgamado, refogado y almacén de mercurio. Este será un ambiente cerrado, con techo inclinado hacia los costados (debido a las altas precipitaciones) canaletas para contener derrames y un tabique de contención de capacidad de 110% del volumen máximo de almacenamiento; deberá ser ventilado y tener piso cubierto con material impermeable.

#### **7. Construcción de una Celda de Seguridad para disponer arenillas negras contaminadas con mercurio**

Para la ubicación de la celda de seguridad se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Las arenillas negras contaminadas con mercurio serán conducidas a una celda de seguridad para su disposición final.
- Ubicar la Celda de Seguridad en lugares de bajas pendientes, en zonas no inundables. Asimismo, se tendrá en cuenta las condiciones de precipitación debido que estas pueden ocasionar posibles infiltraciones.
- La celda de seguridad será implementada dentro del área de la concesión de manera individual o en forma conjunta con los titulares de concesiones aledañas, considerando que esta celda no se ubique en zonas cercanas a cuerpos de agua.
- La celda de seguridad contará con revestimiento de arcilla ( $K=1 \times 10^{-9}$  m/s) de 50 cm de espesor como mínimo, tanto en el piso como en sus

paredes; será ubicada en un ambiente techado, cercado y con un canal perimetral para el control de aguas pluviales.

- La capacidad de colmatación de la celda será a 1 m de la superficie luego del cual será rellenada de acuerdo a lo establecido en el Plan de Cierre.

#### **8. Construcción de una trinchera para la disposición final de los residuos sólidos domésticos biodegradables**

Para la ubicación de la trinchera se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicar la trinchera en lugares de baja pendientes, en zonas no inundables. Asimismo, se tendrá en cuenta las condiciones de precipitación debido que estas pueden ocasionar posibles infiltraciones.
- Para el diseño de la trinchera se tendrá en cuenta la capacidad de producción de residuos sólidos biodegradables, para poder satisfacer las necesidades de almacenamiento.
- La trinchera estará impermeabilizada con una capa de arcilla ( $K=1 \times 10^{-6}$  m/s) en el piso y paredes, la capa de arcilla tendrá como mínimo 40 cm de espesor.
- Se techará la trinchera, la misma que estará cercada y presentará canal perimetral de drenaje para evitar posibles infiltraciones por precipitación en la zona.
- La capacidad de colmatación de la trinchera será a 0.8 m de la superficie luego del cual será rellenada de acuerdo a lo indicado en el Plan de Cierre.

#### **9. Construcción de Celdas de Seguridad para residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos**

Para la ubicación de la celda de seguridad se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicar la Celda de Seguridad en lugares de bajas pendientes, en zonas no inundables, asimismo se tendrá en cuenta las condiciones de precipitación debido que estas pueden ocasionar posibles infiltraciones.
- Para el diseño de la celda de seguridad se tendrá en cuenta la capacidad de producción de residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos, para poder satisfacer las necesidades de almacenamiento.
- La celda de seguridad será impermeabilizada con una capa de arcilla ( $K=1 \times 10^{-9}$  m/s) en las paredes y piso, el ancho de la capa de arcilla tendrá como mínimo 50 cm de espesor.

- La Celda de Seguridad contará con techo, estará cercada y presentará canal perimetral de drenaje para evitar posibles infiltraciones por precipitación en la zona.
- La capacidad de colmatación de la celda será a 1 m de la superficie luego del cual será rellenado de acuerdo al Plan de Cierre.

**10. Construcción de almacén de hidrocarburos (lubricantes, combustibles, aceites, grasas, etc.)**

Para la implementación de este almacén, se considerará los siguientes aspectos:

- Este ambiente no implicará ningún riesgo para la seguridad, ni para la salud de los trabajadores, de la población en general, ni para la naturaleza circundante.
- Los depósitos a ser utilizados en el almacenamiento de estos hidrocarburos se ubicarán al interior del ambiente sobre una altura de 0.50 m, y estarán herméticamente cerrados, contando con etiquetas y/o rótulos claramente legibles.
- Se deberá asegurar que los depósitos de almacenamiento de combustibles no tengan fisuras.
- El almacén de combustibles será techado para evitar la infiltración de la lluvia.
- La base presentará rejillas que permitan filtrar derrames los cuales serán dirigidos a un canal y posteriormente hacia un colector.
- El piso será construido de cemento pulido y en plano inclinado hacia un canal de depósito de recolección de posibles derrames.
- La capacidad del almacén de hidrocarburos será de 110% del volumen a almacenar.
- Delimitar el área del colector de derrames de combustibles para evitar la entrada de personas ajenas a la actividad, y así de esta manera evitar posibles accidentes.

**11. Tratamiento de Suelos Contaminados por Hidrocarburos**

Para el tratamiento de suelos contaminados se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Construcción del área de confinamiento de suelos contaminados para el tratamiento biológico.
- La recuperación de los suelos por tratamiento biológico se realizará al inicio de la siguiente temporada.

- El área de confinamiento para suelos contaminados con hidrocarburos se ubicará en condiciones tales que la humedad del suelo no supere el límite de saturación de éste.
- El ambiente deberá ser techado para evitar la acción de condiciones ambientales externas tales como la lluvia, radiación térmica, etc.
- No se deberá agregar cloro al suelo contaminado ya que es más lenta la degradación del contaminante.
- Disponer el suelo contaminado con hidrocarburos en el área de confinamiento; la cual se encontrará en una zona ventilada.
- Se tendrá un control estricto de la temperatura, contenido de humedad, oxigenación, pH, e incorporación de nutrientes.
- Remover semanalmente los suelos contaminados para su oxigenación óptima.

## **12. Construcción de letrinas**

La construcción de las letrinas se considerará:

- Antes de la instalación de la letrina se evaluará el suelo del lugar, las condiciones topográficas y la accesibilidad, así como la presencia de aguas superficiales y subterráneas en la zona de posible ubicación de las letrinas.
- Se ubicará las letrinas en terrenos secos y libres de inundaciones, a una distancia prudencial del campamento.
- Si el terreno no es adecuado para construir letrinas (suelo rocoso o napa freática alta), se implementarán letrinas elevadas.
- Estimar la cantidad de letrinas que se deben instalar de acuerdo con el número de trabajadores de la concesión.
- La distancia mínima horizontal entre la letrina y cualquier fuente de abastecimiento de agua será de 50 m.
- En terrenos con pendiente, la letrina deberá ser colocada en la parte más baja respecto de un pozo de agua.
- Se implementará una letrina mejorada de pozo ventilado, con una caseta de calamina metálica o madera, contará con una malla o cedazo fino en la parte superior para evitar la entrada de moscas y un tubo para entrada de luz que debe sobresalir 50 cm de la caseta y de un diámetro no menor a 15 cm si son de material liso como el PVC ó de 23 cm si son de material rugoso.
- Deberán contar con un tubo de ventilación para circular el aire interior hacia el exterior.

- Contará necesariamente con una loza o placa que sirva de cubierta y sostén de la caseta.
- El revestimiento interno de la letrina será de arcilla ( $K=1 \times 10^{-6}$  m/s) de un espesor mínimo de 30 cm y deberá asegurar la estabilidad física y química de la misma. Asimismo este revestimiento interno deberá prevenir posibles derrumbes.
- Deberá contar con un brocal perimetral que sirva de apoyo a la loza e impida el ingreso del agua.
- La capacidad de colmatación de la letrina será a 0.8 m de la superficie luego del cual será rellenado de acuerdo al Plan de Cierre.

#### **Medidas de Manejo Ambiental**

A fin de realizar un adecuado manejo de los proyectos a ser implementados en el Programa de Adecuación Ambiental, se implementarán las siguientes medidas:

- **Manejo ambiental del sistema de tratamiento de agua para consumo humano**
  - Mantenimiento periódico de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento.
  - Los sólidos retenidos en el decantador serán eliminados cada vez que se finalice el tratamiento y se realizarán su disposición final en la Trinchera.
  - Lavado del decantador cada vez que se finalice el tratamiento.
  - Limpieza de recipientes utilizados para la desinfección del agua (cilindros, baldes, etc.).
- **Manejo ambiental del sistema de decantación de aguas**
  - Una vez saturada la poza de sedimentación, se procederá a la implementación de las medidas de cierre respectivo y a la posterior construcción de una nueva poza de sedimentación.
- **Manejo ambiental del ambiente de amalgamado, refogado y almacenamiento del mercurio**
  - Realizar mantenimiento preventivo de los equipos utilizados en los procesos de amalgamado y refogado (baldes, cilindros, retorta, etc.), luego de terminadas las operaciones.
  - Limpieza constante del ambiente.
  - En caso de derrames de mercurio, se procederá a recoger el mercurio y agregarlo directamente al proceso de amalgamación.

### **Manejo Ambiental del Mercurio**

#### **Adquisición:**

- Se deberá comprobar que los distribuidores cuenten con los permisos respectivos ante la autoridad competente para el transporte y comercialización del mercurio.

#### **Almacenamiento:**

- Almacenar en frascos con cierre hermético, en lugares frescos, lejos de los rayos solares. El frasco estará debidamente rotulado con letra legible y colocado sobre una repisa.
- El área de almacenamiento será hecha de materiales resistentes al fuego.
- Usar el mercurio dentro de un lugar ventilado. Abrir el frasco con cuidado y sobre superficies estables.
- Almacenar el mercurio en el ambiente donde se realizan los procesos de amalgamación y refogado.

#### **Uso y Recirculación al Proceso:**

- Realizar los procesos de amalgamado y refogado en el ambiente diseñado para tal fin, nunca fuera de las instalaciones del mismo.
- Al realizar el amalgamado, no permitir que el mercurio haga contacto con la piel (usar guantes de jebe) y evitar derrames.
- Las aguas de amalgamado recirculadas al proceso tendrán un tratamiento de filtrado en un filtro de arena graduada y luego pasarán por un filtro de carbón activado, para luego se reutilizadas en el proceso de amalgamación cuando este sea necesario.
- Para proceder a su descarga final se deben seguir los siguientes pasos:
  - \* Filtrado en tela.
  - \* Filtrado en arena graduada.
  - \* Filtrado de la solución por carbón activado.

Se debe realizar un mantenimiento de los filtros de arena y carbón activado con inyección de agua a contracorriente, por lo menos una vez al mes y/o cuando los filtros se saturen, el agua a contracorriente empleada en este proceso será recirculada a las operaciones de amalgamación.

- Cuando las aguas utilizadas en estos procesos no puedan ser recirculadas, serán llevadas hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales con contenido de mercurio.

- Luego de realizado el tratamiento de estas aguas residuales, se realizará su vertido, verificando que este efluente cumpla con los Límites indicados. No se verterá esta agua directamente hacia el cuerpo receptor sin recibir tratamiento previo.
- En caso de derrames de mercurio en el ambiente destinado a su almacenamiento, se procederá a recoger el mercurio y agregarlo directamente al proceso de amalgamación.
- El mercurio recuperado durante los procesos de torsión y refogado será recirculado al proceso de amalgamación previa reactivación.
- Se seguirá las indicaciones propuestas en el manejo ambiental de las retortas, para evitar pérdidas de mercurio en el proceso de refogado.

**Reactivación:**

- La reactivación del mercurio se realizará en un recipiente de PVC, que tiene insertados dos carbones que corresponden a los electrodos positivo y negativo, y que se conectan a los respectivos bornes de una batería de 12 voltios. Esta reactivación permitirá el uso del mercurio, libre de impurezas y con toda su potencia, perdida luego después de varios usos.
- El mercurio "sucio" se coloca en el recipiente en contacto con el electrodo negativo. Se le agrega una solución de sal común al 10-15% y limón, que deberá alcanzar el nivel del electrodo positivo.
- Los terminales que salen de los electrodos se colocarán a los respectivos bornes de la batería por espacio de 12 minutos, para que se produzca la reactivación.
- Se produce una "nata" de suciedad, la cuál será dispuesta en la Celda de Seguridad para las arenillas negras.
- Se filtra, quedando el mercurio reactivado para su posterior uso.

**REACTIVADOR DE MERCURIO**



### **Disposición Final**

Cuando el mercurio ya no pueda ser reactivado, se le dispondrá en envases herméticos que luego serán llevados hacia la Celda de Seguridad para residuos peligrosos.

➤ **Manejo ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales con contenido de mercurio**

Se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Las aguas de amalgamado recirculadas al proceso tendrán un tratamiento de filtrado en un filtro de arena graduada y luego pasarán por un filtro de carbón activado, para luego se reutilizadas en el proceso de amalgamación cuando este sea necesario.
- Para proceder a su descarga final se deben seguir los siguientes pasos:
  - \* Filtrado en tela.
  - \* Filtrado en arena graduada.
  - \* Filtrado de la solución por carbón activado.

Se debe realizar un mantenimiento de los filtros de arena y carbón activado con inyección de agua a contracorriente, por lo menos una vez al mes y/o cuando los filtros se saturen, el agua a contracorriente empleada en este proceso será recirculada a las operaciones de amalgamación.

➤ **Manejo ambiental de las retortas, en el refogado**

- Para una buena recuperación es sumamente importante el tamaño adecuado de la retorta. En una retorta demasiado grande, al quemar una bola de amalgama muy pequeña, se quedas gas de mercurio, que puede escaparse al abrir la retorta.
- El tubo para enfriar el gas de mercurio debe ser de acero inoxidable, lo que asegura, que el azogue recuperado no se ensucie.
- Para calcular la recuperación de mercurio (azogue), se pesará la amalgama que se va a quemar.

Procedimiento recomendado:

- Se lavará bien la amalgama para liberarla de partículas de arena fina, restos de hierro y otras suciedades. Si son más de 300 gramos, las bolitas de amalgama se colocarán de tal forma que entre ellas queden espacios, los cuales al calentar la retorta permiten un escape efectivo de los gases de mercurio (azogue).
- Antes de finalizar el proceso se calentará la tapa de la retorta y la tubería sobre la tapa, todo esto con la finalidad de eliminar las últimas

trazas de mercurio (azogue) que quedan dentro de la retorta. Con la finalidad de comprobar el porcentaje de recuperación de mercurio y de esta forma determinar si la retorta no ha tenido escapes, se pesará el oro y el mercurio recuperado, y comparar así el peso de oro y mercurio con el peso inicial de la amalgama, para determinar el porcentaje de pérdida de mercurio.

- **Manejo ambiental del almacén temporal de arenillas negras con contenido de mercurio**
  - Realizar una revisión cada dos semanas del almacén, para verificar el buen estado de los depósitos de almacenamiento de dicha arenilla.
  - Se realizará mantenimiento a las canaletas de contención de derrames con una frecuencia trimestral.
- **Manejo ambiental de la Celda de Seguridad para disponer arenillas negras contaminadas con mercurio**
  - Se realizará el traslado de las arenillas negras contaminadas con mercurio de forma segura evitando las pérdidas en el recorrido, se realizará el transporte en recipientes (baldes, tachos, etc.) cerrados ya sea si el traslado es en carretillas u otros medio de transporte.
  - Se tendrá un registro de la cantidad de arenillas negras contaminadas con mercurio que son dispuestos a la celda de seguridad.
  - En la celda de seguridad, se dispondrán las bolsas de arenillas formando capas de 15 cm hasta cubrir la sección de la celda, luego se cubrirá con una capa de arcilla de 60 cm y luego 40 cm de tierra vegetal.
  - Mantenimiento mensual del canal perimetral y mantenimiento trimestral de la estructura de techado.
- **Manejo ambiental de la trinchera para la disposición final de los residuos sólidos domésticos biodegradables**
  - Se realizará el traslado de los residuos sólidos domésticos biodegradables de forma segura evitando las pérdidas en el recorrido, para esto, el transporte se realizará en recipientes (baldes, tachos, etc.) cerrados ya sea si el traslado es en carretillas u otros medio de transporte.
  - Se tendrá un registro diario de la cantidad de residuos sólidos que llegan a la trinchera.

- Se agregará una capa de cal (5 cm) y una de capa de tierra de cobertura (15 cm) diaria, para evitar la proliferación de vectores (moscas, ratas, etc.).
- Mantenimiento mensual del canal perimetral y mantenimiento trimestral de la estructura de techado.
- **Manejo ambiental de las celdas de seguridad para residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos**
  - Se realizará el traslado de los residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos (baterías, pilas, focos de linternas, chatarras, filtros, entre otros.) de forma segura evitando las pérdidas en el recorrido, para esto el transporte se realizará en recipientes (baldes, tachos, etc.) cerrados ya sea si el traslado es en carretillas u otros medio de transporte.
  - Se tendrá un registro de la cantidad de residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos, que son dispuestos a la celda de seguridad.
  - La Celda de Seguridad contará con techo, estará cercada y presentará canal perimetral de drenaje para evitar posibles infiltraciones por precipitación en la zona.
  - La capacidad de colmatación de la celda será a 1 m de la superficie y luego se cubrirá con una capa de arcilla de 60 cm y luego 40 cm de tierra vegetal.
  - Mantenimiento mensual del canal perimetral y mantenimiento trimestral de la estructura de techado.
- **Manejo ambiental del almacén de hidrocarburos (lubricantes, combustibles, aceites, grasas, etc.)**
  - Se realizará mantenimiento a los canales con una frecuencia trimestral.
  - Se realizará una revisión cada dos semanas del almacén de combustibles para verificar el buen estado de los depósitos de almacenamiento de combustibles.
- **Manejo ambiental de los suelos contaminados con hidrocarburos**

Para el manejo de los suelos contaminados con hidrocarburos se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

  - Temperatura: La temperatura en el suelo se deberá encontrar por encima de los 30° C.

- Contenido de Humedad: El contenido de humedad del suelo es otro factor importante que afecta la actividad microbiana del suelo en tratamiento. La concentración de humedad deberá establecerse por debajo del 10% ya que la concentración de microorganismos encargados de la degradación del suelo asciende produciendo que la concentración de hidrocarburos baje considerablemente.
- Oxigenación: Se deberá encontrar en un lugar ventilado, debido a que es un factor importante en la degradación del hidrocarburo en el suelo.
- pH: El óptimo a considerar para el tratamiento de suelos deberá ser pH = 6.
- Incorporación de Nutrientes: Se deberá incorporar una capa de suelo orgánico al suelo contaminado para que se acelere ya que estos contienen gran cantidad de microorganismos que contribuyen a la degradación de los suelos contaminados.
- Los suelos dispuestos en el área de confinamiento deberán ser removidos semanalmente para acelerar el proceso de degradación del suelo contaminado.

➤ **Manejo ambiental de las letrinas**

- La letrina se utilizará únicamente para la disposición de excretas y orina. Se deberá eliminar el papel higiénico en una cesta y cubrir el hoyo con una tapa de madera después de su uso.
- Se utilizará cal o ceniza como desinfectante cada vez que se utilice la letrina.
- No arrojar desperdicios, trapos, basuras, etc. en el interior de la letrina, en caso de percibir moscas, agregar al pozo un vaso de parafina líquida.
- No descargar al interior de la letrina las aguas servidas o aguas de lluvias.

**Plan de Contingencia:**

El plan de contingencia contempla lo siguiente:

- **Riesgos de Origen Natural:** Se realizará inspecciones permanente y continua sobre la consistencia de las instalaciones en el área de explotación. Se proporcionará charlas de entrenamiento para el personal y como deberá afrontar en estas circunstancias. Señalización de áreas de escape, y zonas seguras. Se evaluará los daños ocurridos y se dará aviso a las autoridades locales y regionales, para la atención de salud correspondiente, evaluando la magnitud del evento.

- **Equipos a ser utilizados para los casos de Emergencia:** Entre los equipos a ser utilizados para los casos de emergencia se deben considerar los siguientes:
  - Extintores portátiles operativos de 12 Kg. de polvo químico seco tipo ABC.
  - Letreros, avisos o carteles de seguridad.
  - Botiquín de primeros auxilios
  - Lámparas y linternas operativos
  - Cilindros de arena fina
  - Camillas
- **Reporte de una contingencia:** El personal que detecte la emergencia deberá informar inmediatamente al comité de plan de contingencias, que es el encargado de implementar las medidas adecuadas antes, durante y después de ocurrida una contingencia. Asimismo, como informar a la autoridad competente (DGM –MEM).
- **Organización:** El comité del plan de contingencias, estará conformado por el titular de la concesión minera y los trabajadores.
- Se implementará un lugar de vigilancia el mismo que deberá tener disponible en todo momento, como mínimo lo siguiente:
  - Sistema de comunicación interna con las unidades mineras cercanas.
  - Comunicación telefónica o radial con el exterior, especialmente con los bomberos, la policía, y servicios de transmisión de alarmas de emergencia.

#### **Tareas del comité de plan de contingencias**

Las tareas principales que debe desarrollar el Comité de plan de contingencia son:

- Capacitación de todo el personal, en acciones a seguir y medidas inmediatas a tomar en el caso de producirse un siniestro (Identificación y calificación del tipo de siniestro, identificación de lugares de refugio y evacuación, primeros auxilios, medidas preventivas para evitar desastres ecológicos, acciones de rescate, simulacros de evacuación, simulacros de acciones a tomar en caso de incendios, simulacros de acciones a tomar en caso de sismos, etc.).
- Identificar las áreas críticas vulnerables en caso de siniestros.
- Identificar zonas de evacuación en caso de siniestros.

- Formar cuadrillas con todo el personal, y asignar a cada una de ellas tareas específicas para asumir en caso de producirse un siniestro.
- Coordinación con las comunidades vecinas para la toma de acciones conjuntas.
- Estar en permanente alerta con un equipo de respuesta inmediato a cualquier eventualidad.

### **Procedimientos de Emergencia**

#### **Procedimiento General Durante la Emergencia**

- Dar alarma oportuna e iniciar acciones para controlar la emergencia (fuego, sismo, atentado, etc.)
- Utilizar los equipos necesarios para afrontar la emergencia.
- Dar oportunidad en la atención a los heridos.
- Establecer canales de comunicación.
- Si se sospecha que el evento es intencional, trata de conservar las evidencias.
- Tomar las medidas para disminuir el riesgo en otras áreas.

### **Acciones durante la Emergencia**

#### **Riesgos de Origen Natural**

Sismos (Terremotos)

- Concentrar al personal en un área libre previamente designada.
- Orientar al personal con orden.

#### **Riesgos de origen Antropogénico**

Incendio

- Ubicarse en áreas seguras
- Acceder hacia las áreas donde están los equipos de lucha contra incendios
- Proceder a controlar el incendio, coordinando las acciones de Emergencia.

#### **Accidentes de Trabajo**

- Proporcionar los primeros auxilios
- Evacuar a la víctima al centro de Emergencia, posta médica y de acuerdo a la gravedad, puede decidirse su evacuación al centro hospitalario más cercano.

- Comunicar a las dependencias vinculadas al seguro del trabajador.

**Procedimientos después de la Emergencia**

- Organizar equipos de trabajo con los recursos disponibles.
- Hacer un balance de los daños ocurridos, para enviar un informe a la autoridad competente (Dirección General de Energía y Minas – Ministerio de Energía y Minas).
- Informar a los niveles superiores la magnitud de los daños y hacer un breve resumen de las necesidades para recuperar el estado original.
- Establecer un canal permanente de comunicación para viabilizar las operaciones de rehabilitación.
- Revisar y actualizar el Plan de contingencias para corregir posibles errores.
- Informar y coordinar con instituciones tales como: DREM, MEM, Municipalidad, Centros de Salud, Hospital, Bomberos, Policía, otras unidades mineras, etc.

A continuación se presentan las acciones a seguir en caso ocurra una contingencia como:

**Incendio:** Esta contingencia puede presentarse por efecto de una falla mecánica en los equipos (chispas, fugas de combustibles) o por maniobras o actos inseguros que producen los 3 elementos del triángulo de fuego (combustible, oxígeno y calor). Esta contingencia puede generar el deterioro de los equipos, con la consecuencia de interrupción de las operaciones mineras como así la pérdida de vidas y de impactos al medio ambiente. La emergencia será controlada de la siguiente manera:

- \* El personal que detecte la emergencia procederá a controlar las fugas de combustible, comunicando inmediatamente titular de la concesión o al encargado. Se combatirá inmediatamente el incendio con los medios disponibles (extintores).
- \* De no ser posible controlar el incendio se procederá a apagar los equipos en funcionamiento.
- \* El personal que no esté capacitado para el control del incendio, deberá evacuar el área.
- \* Se evacuará a los accidentados en caso que los hubiese a una zona segura para brindarle los primeros auxilios.
- \* Se contará con tanques de abastecimiento de agua a ser usado en caso de incendios.

- \* Pasado el siniestro se evaluará los daños materiales de las instalaciones, para luego informar y coordinar con instituciones tales como: DREM, MEM, Municipalidad, Centros de Salud, Hospital, Bomberos, etc.

**Sismos:** En caso de presentarse un sismo de magnitud, primero debemos analizar la posibilidad de falla de los depósitos de desmonte y taludes de las áreas de explotación, se realizará para ello los estudios correspondientes de análisis de estabilidad.

- Se debe instruir a los trabajadores en la forma como deben actuar en caso de presentarse una falla en las estructuras de los depósitos de desmontes y taludes de las áreas de explotación. Para implementar un buen sistema de seguridad lo mejor es trabajar con brigadas integradas por los propios trabajadores.
- Además el personal deberá interrumpir sus labores y evacuar el área de inmediato. En caso de haber accidentados, se auxiliará al personal en forma inmediata.
- Pasado el siniestro se evaluará los daños materiales de las instalaciones, para luego informar y coordinar con instituciones tales como: DREM, MEM, Municipalidad, Centros de Salud, Hospital, Bomberos, Policía, otras unidades mineras, Policía, otras unidades mineras, etc.

**Caso de gran avenida (lluvias):** Para el caso de gran avenida (lluvias) por los cuerpos de agua superficial que pueden generar grandes deslizamientos de tierras aguas abajo afectando cultivos y viviendas de pobladores, se realizará una comunicación rápida de alarma y para estos casos la Brigada de Respuesta debe actuar en conjunto de forma inmediata con los pobladores de la zona que estarán debidamente capacitados.

- A fin de aliviar una descarga extraordinaria y que funcionen correctamente los canales de escorrentía es necesario implementar un plan de mantenimiento periódico.

#### **Derrames de mercurio e hidrocarburos**

Este tipo de incidente puede presentarse en cualquier momento teniendo un impacto negativo importante en el ambiente circundante. Deberán tomarse las acciones necesarias para reducir las ocurrencias para lo cual se seguirán las siguientes:

- Contar con un mapa del lugar indicando donde se encuentran almacenados el mercurio y los hidrocarburos.
- Asegurar que el mercurio e hidrocarburos estén adecuadamente almacenados, con bermas para evitar la contaminación de la zona circundante.

- Para el caso de derrame de mercurio, el suelo contaminado debe ser recogido con palas y dispuesto finalmente en la celda de seguridad para arenillas negras.
- De ocurrir un derrame de hidrocarburos que afecte el suelo natural, este suelo será recogido con palas y almacenado en cilindros para su posterior recuperación mediante la aplicación de tratamiento biológico.

**Plan de Cierre:**

Para el cierre de las instalaciones, se implementarán las siguientes acciones:

- **Cierre de los componentes utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano.**

**Cierre de Instalación:**

- Retirar los componentes del sistema de tratamiento.
- Se clasificarán los materiales que puedan ser reutilizados y los que no puedan ser reutilizados serán dispuestos en la Celda de Seguridad para residuos.
- **Cierre del sistema utilizado para la decantación de aguas**

**Cierre de Instalación:**

- Se considerará el retiro de todas las estructuras.
- Realizar el relleno y renivelación de las pozas, con el material removido durante su construcción (top soil) para su posterior revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo semestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.
- **Cierre del ambiente destinando al amalgamado, refogado y almacenamiento del mercurio.**

**Suspensión de operaciones:**

- Delimitar el área del ambiente para evitar el ingreso de personas ajenas a la actividad y la ocurrencia de posibles accidentes.
- Realizar inspecciones antes de la suspensión de las actividades y antes del inicio de las operaciones de la campaña siguiente (en caso de utilizar método de Canaleta), considerando la revisión de cada uno de los componentes del ambiente (cilindros en buen estado, canales, techo, etc.).

### **Cierre de Instalación**

- Retirar las estructuras utilizadas para la construcción del ambiente. Asimismo, estos materiales serán dispuestos según sus características en una Trinchera (residuos biodegradables) o en una Celda de Seguridad (residuos no biodegradables, industriales y peligrosos).
- Los materiales utilizados en el proceso de amalgamado (baldes, cilindros, platillos, etc.) se dispondrán en la Celda de Seguridad debido a su contenido residual de mercurio.
- Realizar el relleno y renivelación del terreno con el material removido para la construcción del ambiente (top soil), para su posterior revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo trimestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.
- **Cierre del sistema de tratamiento de agua residual con contenido de mercurio.**

### **Cierre de Instalación**

- Los filtros de tela, de arena y de carbón activado, una vez concluidos las operaciones mineras, serán dispuestos en la celda de seguridad.
- **Cierre del almacén temporal de arenillas negras con contenido de mercurio.**

### **Suspensión de operaciones**

- El almacén quedará cerrado y hasta el reinicio de las operaciones no se almacenarán arenillas negras contaminadas con mercurio, todas serán dispuestas en la celda de seguridad construida para tal fin.

### **Cierre de Instalación:**

- Una vez concluido el ciclo de vida del proyecto minero se desarmará la infraestructura del almacén.
- Se realizará una limpieza completa del área que fue ocupada por el almacén, dejándola libre de cualquier tipo de residuo.
- El material impermeable utilizado para cubrir el suelo será retirado y dispuesto en la celda de seguridad implementada para la disposición final de arenillas negras contaminadas de mercurio.
- Se realizará la renivelación del terreno con el material removido al inicio de las actividades de explotación y luego se revegetará con especies de la zona.

- Se realizará un monitoreo trimestral post-cierre durante un periodo mínimo de 01 año a fin de asegurar la adecuada restauración del área y poder tomar las medidas correctivas necesarias en forma oportuna en caso de presentarse situaciones adversas.
- **Cierre de la Celda de Seguridad para disponer arenillas negras contaminadas con mercurio.**

**Suspensión de operaciones:**

- Con antelación a la suspensión de operaciones se realizará una inspección visual de la estructura del techado, el cerco perimétrico y la señalización, asegurándose de que estos queden en perfecto estado. Asimismo, los canales perimetrales de drenaje para aguas pluviales serán limpiados eliminando todo obstáculo que impida el libre discurrir del agua, evitando así que la celda se inunde por rebalse de dichos canales.

**Cierre de Instalación**

- Se colocará una capa de arcilla de 0.60 m de espesor y finalmente una capa de suelo orgánico de 0.40 m para su posterior revegetación con especies de la zona.
- Se realizará un monitoreo trimestral post-cierre durante un periodo mínimo de 01 año consistente en inspecciones visuales, a fin de asegurar la adecuada restauración del área y poder tomar las medidas correctivas necesarias en forma oportuna en caso de presentarse situaciones adversas.
- **Cierre de la Trinchera destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos biodegradables.**

**Suspensión de operaciones:**

- Se colocará un cerco perimétrico (se evitará el uso de material punzante) y una señalización que indique "Peligro Almacenamiento de residuos".
- Se colocará una capa adicional de tierra de cobertura de 15 cm.

**Cierre de Instalación:**

- Se desarmará la estructura de techado.
- Para el cierre de la trinchera se colocará una capa de arcilla de 0.50 m y una capa de suelo orgánico de 0.30 m para posteriores actividades de revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo semestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.

➤ **Cierre de las Celdas de Seguridad para residuos sólidos peligrosos: industriales y domésticos**

**Suspensión de operaciones:**

- Se colocará un cerco perimétrico (se evitará el uso de material punzante) y una señalización que indique "Peligro Almacenamiento de residuos peligrosos".
- Se colocará una capa adicional de tierra de cobertura de 0.20 m.

**Cierre de Instalación:**

- Se desarmará la estructura de techado.
- Para el cierre de la celda de seguridad se colocará una capa de arcilla de 0.60 m y una capa de suelo orgánico de 0.40 m para posteriores actividades de revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo trimestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.

➤ **Cierre del almacén de hidrocarburos (lubricantes, combustibles, aceites, grasas, etc.)**

**Suspensión de Operaciones**

- Delimitar el área para evitar la entrada de personas ajenas a la actividad y posibles accidentes.
- Realizar las inspecciones correspondientes: antes de la suspensión de las actividades y antes del inicio de las operaciones de la campaña siguiente, considerando la revisión de cada uno de los componentes en el área de almacén (cilindros en buen estado, canales y techo).

**Cierre de Instalación**

- Retiro de las estructuras (techo, cilindros, otros).
- Realizar la renivelación del terreno con el material removido al inicio de las actividades de explotación y su posterior revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo trimestral durante un periodo mínimo de 01 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.

➤ **Cierre del ambiente destinado al tratamiento de Suelos Contaminados por Hidrocarburos.**

**Suspensión de Operaciones.**

- Delimitar el área de confinamiento de suelos contaminados para evitar la entrada de personas ajenas a la actividad y posibles accidentes.

### **Cierre de Instalación.**

- Completada la degradación de los suelos contaminados con hidrocarburos, se procederá al retiro de los materiales utilizados para el techado del área de confinamiento, los cuáles deberán ser dispuestos en la Trinchera o en la Celda de Seguridad de acuerdo al tipo de residuo.
- Renivelación del terreno con el material removido al inicio de la implementación y la revegetación con especies de la zona.
- Realizar un monitoreo trimestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.

### ➤ **Cierre de las Letrinas**

#### **Suspensión de Operaciones**

- Delimitar el área y señalizar (letreros legibles) para evitar la entrada de personas ajenas a la actividad.
- Adicionar una capa de cal o ceniza de un espesor 0.10 m, cada vez que se deje de utilizar la letrina (zona de playa), mantener tapada la taza de la letrina, para evitar la generación de vectores. La caseta de la letrina se mantendrá cerrada hasta la siguiente campaña.

### **Cierre de Instalación**

- Retirar las estructuras utilizadas para la construcción del ambiente y disponerlas en la Celda de Seguridad para residuos industriales y peligrosos.
- Adición de una capa de cal en el pozo con un espesor de 0.10 m. para esterilizar.
- Para el cierre de la letrina se colocará una capa de arcilla de 0.50 m y una capa de suelo orgánico de 0.30 para posteriores actividades de revegetación con especies de la zona.
- Renivelado del terreno del área de la instalación.
- Limpieza del área usada para la habilitación de letrinas.
- Realizar un monitoreo trimestral durante un periodo mínimo de 1 año post-cierre para asegurar la adecuada restauración del área.

## **TECNOLOGIAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA MINERA BOLIVIANA**

*Bady I. Mancilla S.<sup>(1)</sup>, Soledad Siñani Q.<sup>(2)</sup>*

<sup>(1)</sup>Carrera de Ingeniería Geológica y del Medio Ambiente –  
UMSA. La Paz – Bolivia. badysol@hotmail.com

<sup>(2)</sup> Conservación Internacional – Bolivia,  
E-mail: soledad@geologist.com

---

### **RESUMEN**

Bolivia se caracteriza por ser un país tradicionalmente minero, la cual fue desarrollada de forma artesanal, lo cual la predispone en especial en la minería chica, a estar expuestos a los diferentes riesgos ambientales, las amenazas y la vulnerabilidad de estas comunidades mineras son excepcionalmente altas, esta situación es acrecentada debido a la falta de incentivos y normativas que promuevan la implementación de tecnología limpia en el ciclo minero principalmente de la pequeña minería, los cuales no tienen acceso, ni recursos para la implementación de tales alternativas .

En el desarrollo del presente documento se realizara un análisis de los principales antecedentes de contaminación en Bolivia, y la necesidad de implementar la tecnología limpia principalmente pequeña minería y minería artesanal, pasando por la descripción de los diferentes tipos de minería o de técnicas que se emplean en el proceso y como estas afectan al medio ambiente, y finalmente se propondrá la introducción de la tecnología limpia como incentivo de gran importancia para un modelo de desarrollo sostenible minero en Bolivia.

### **EL SECTOR MINERO NACIONAL**

El desarrollo económico de Bolivia ha estado íntimamente ligado a la explotación de minerales y por consiguiente las demandas y precios de los mercados internacionales han marcado el ritmo de la vida del país y han sido definitivos para el curso que ha tomado su historia.

Incluso antes de su creación como Republica, el territorio fue conocido mundialmente por sus ricos yacimientos, principalmente de plata, los cuales en lugar de haber dejado riquezas y prosperidad al país se convirtieron en la causa de explotación de sus habitantes y de degradación paulatina de los recursos hídricos, suelos y vegetación.

Durante décadas, el cerro rico de Potosí constituyó el yacimiento de minerales de plata más importante del mundo. Su descubrimiento en 1.545 inició el ciclo de la minería en el territorio que hoy constituye Bolivia. Para aprovechar la plata de Potosí se introdujeron tecnología de punta para su tiempo; pero no consideraron ni los efectos para la población originaria ni los impactos sobre el medio ambiente. La producción se basa en el trabajo de los indígenas bajo el régimen de la mita. Ello conlleva que cada año llegan a Potosí alrededor de 13.500 mitayos con sus familias,

formando un contingente de 40.000 personas. La ciudad así, llega a convertirse en uno de los principales centros urbanos del mundo.

A inicios del presente siglo XX la demanda internacional del estaño reafirmo, el rol monoprodutor del país. Durante siete décadas, la explotación principalmente de estaño pero también de plomo, zinc y wolfram entre otros, permitió amasar grandes fortunas, entre estas la de Simón Patiño, quien se convirtió en uno de los diez hombres mas ricos del mundo. Sin embargo, estas grandes riquezas no fueron reinvertidas en el país, y esta etapa culmino con la revolución de 1952, bajo la consigna de nacionalización de las minas.

De esta manera surgió la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) que controló el 75% de la industria minera nacional y que a pesar de nacer casi sin capital, debido a las indemnizaciones que tuvo que pagar a las grandes empresas nacionalizadas, se constituyo en la principal fuente de ingreso del país. Los recursos captados por estas empresas fueron destinados a desarrollar el oriente del país mediante el apoyo al sector petrolero y agroindustrial y la construcción de caminos para conectarlo con el resto del país.

Tras años de gestión desafortunada, el colapso de los precios internacionales del estaño puso de manifiesto la fragilidad fundamental de la economía boliviana y sumió a Comibol y al país en una crisis económica. El Gobierno que llegó al poder en 1.985 abandonó el anterior modelo de desarrollo económico dirigido y dio paso a una nueva política de ajustes macroeconómicos y estructurales. Las costosas minas de Comibol se cerraron y toda su infraestructura de bienestar social se abolió. La nómina laboral se redujo de 30.000 a menos de 5.000, en tanto que la propia Comibol fue reestructurada como sociedad de cartera para los activos mineros estatales. Muchos trabajadores encontraron empleo en cooperativas mineras, donde los salarios son mucho más bajos y el trabajo más peligroso. Una nueva ley de inversiones promulgada a finales de 1.990 incluyó la garantía de los derechos de propiedad, la libertad de repatriación de capital y utilidades, y la igualdad de trato a las compañías nacionales y extranjeras, cambios que dieron lugar a un considerable aumento de la participación privada en el sector minero. Con Inti Raymi a la cabeza, las empresas mineras privadas han apartado desde entonces a la minería boliviana de su secular concentración en el estaño, orientándola a la exploración y explotación de zinc, plata, plomo y oro.

Es en la década de los 80 y principios de los 90 cuando se despierta el interés por la problemática ambiental mediante la realización de diversos estudios sobre impactos ambientales causados por la actividad minera, destacando los trabajos de los especialistas de la Universidad de Stirling, junto con la investigación en 1.991 de la problemática de la contaminación que desencadena la explotación aurífera en la Región de Araras en la zona tropical del noroeste del país. Más tarde en 1.993, la

Secretaría Nacional del Medio Ambiente (SENMA) lleva a cabo una Evaluación Ambiental de los sectores minero e industrial en Bolivia, estableciendo que dicha actividad había causado y continuaba haciéndolo, un gran impacto negativo en el medio ambiente natural y humano, en el que resaltaba que los datos sobre los efectos específicos eran escasos.

Bolivia un país conocido mundialmente como país tradicionalmente minero, arrastra también una gran cantidad de pasivos ambientales, la tecnología empleada en 1956 con el descubrimiento del proceso de amalgamación del mineral de plata con mercurio, hace posible la explotación mucho más provechosa de los yacimientos, quienes recuperan el metal preciosos volatilizando el mercurio, lo cual puede llegar a causar una contaminación masiva. Más de 40.000 toneladas de azogue fueron diseminadas en el medio ambiente sólo durante la época colonial. Además, el uso de leña de keñua y yareta como combustible para los hornos de fundición y de cedro para el maderamen de los socavones, lleva a someter a estas especies a una dramática extracción, causando la degradación sucesiva de los suelos del altiplano y del valle.

Desde la perspectiva ambiental, la actividad minera ocasiona diferentes impactos con distintos niveles de intensidad, entre ellos podemos mencionar la contaminación de grandes extensiones de suelos y cuerpos de agua, así como la transformación del paisaje a través de la destrucción de cerros, la construcción de diques y la acumulación de colas de minerales. También tienen un importante impacto sobre la biodiversidad, ya que utiliza madera para el apuntalamiento de socavones y para alimentar las fundiciones provocando una fuerte presión sobre los bosques y dejando suelos expuestos a los procesos de erosión. Por otra parte, las emisiones de gases tóxicos así como el vertido de residuos líquidos y sólidos amenazan constantemente las formas de vida que se desarrollan en su entorno.

Desde la búsqueda y prospección, pasando por la fase de explotación y concluyendo con el procesamiento, todos los procesos de explotación de metales provocan impactos, ya sea a través de toma de muestras, remoción del suelo, construcción de carreteras e infraestructura, dragado de los lechos de ríos, descargas de agua de mina o emisión de polvo sobre cuerpos de agua y suelos como gases tóxicos, entre otros.

La generación de lixiviados, produce los mas altos impactos ambientales de la minería y es un proceso que ocurre cuando el agua, generalmente de lluvia entra en contacto con los desmontes o colas acumulados, cuyos contenidos elevados en pirita acidifican el medio y favorece la movilización de metales pesados que al fluir contaminan todo a su paso. El alto grado de toxicidad de los metales pesados se debe en parte a su baja degradación y alta capacidad de fijación en la cadena trófica: flora y fauna terrestre y acuática. Los lixiviados son producidos tanto por la minería tradicional como por la moderna, así como por las minas e ingenios

que ya no están en funcionamiento y que, con la desaparición de COMIBOL, no hay quien asuma.

Tanto las actividades productivas de los cooperativistas como las grandes empresas mineras, producen altos impactos al ambiente, por el mal uso del mercurio, el ingreso de colas a los ríos, la sedimentación de material fino en los cauces, el vertimiento de combustibles y aceites, la destrucción del paisaje, la producción de desechos sólidos y aguas negras en poblaciones mineras, la presión sobre flora y fauna, etc.

Además en los últimos años, la utilización de xantato y cianuro se ha generalizado, principalmente para la recuperación de plomo, zinc y plata. Las investigaciones realizadas por Quiroga y Salinas (1996) dan ejemplos patéticos del nivel de contaminación de nuestros recursos, describen por ejemplo, como el lago Poopo agotado y contaminado hasta el límite, prácticamente desapareciendo sin que se haya establecido responsabilidades. Con relación al lago Titicaca, advierten sobre una catástrofe ecológica que sucederá de persistir la continua contaminación que le ocasiona la mina Matilde, mediante el aporte de aguas y sedimentos que contienen niveles relativamente altos de zinc, plomo y manganeso. También está el caso del río Pilcomayo que a través de sus efluentes, provenientes de las zonas mineras de Potosí, recibe contaminación de toneladas de lodo y lama saturadas por reactivos que contaminan sus aguas y afectan a miles de hectáreas de cultivo.

En La Paz, de acuerdo a investigaciones realizadas por Zelaya las aguas acidas provenientes de la mina Milluni, actualmente abandonada, afectan a la red de agua potable que abastece a casi un cuarto de sus habitantes.

Por otra parte, en lo que hace a la salud se destaca dramáticamente el caso de la ciudad de Oruro donde, entre 1980 y 1985, se realizaron estudios que demostraron que el 9,5 de cada mil nacidos tenían malformaciones congénitas relacionadas con la contaminación minera.

Sin embargo la industria minera a pesar de los importantes impactos ambientales producidos, percibe millones de dólares/año por exportaciones de minerales, el 2004, la minería fue el segundo exportador generando 457 millones \$US. (21% total exportaciones del país); \$US. 9.879,0 miles por regalías; 50,000 empleos directos (en su mayoría cooperativistas); Participación del PIB minero en un 4.4% del PIB total, las reservas probadas y probables del zinc en 1.990 alcanzaban para 41 años de explotación, a la tasa de extracción de ese año, y las reservas posibles para 52 años de explotación. Las reservas probadas y probables del estaño, del oro, de la plata y del plomo alcanzaban para 65, 222, 120 y 28 años de explotación, respectivamente, por lo cual es importante el desarrollo de esta industria pero con un nuevo enfoque de desarrollo sostenible de la minería, a través de la implementación de una política

minera que permita que esta actividad siga desarrollándose pero con un enfoque de desarrollo sostenible, a través de la aplicación de tecnología limpia, que sea sustentada por el estado, e incentivado como de prioridad nacional.

Este apretado resumen de la historia y situación minera del país, nos permite abordar con más claridad, la necesidad de la implementación de una política minera, como prioridad nacional que contemple la mitigación de pasivos ambientales dejados durante décadas, la implementación de tecnología limpia con bajo coste para la minería pequeña.

### **CARACTERIZACION DE PROCESOS MINEROS EN BOLIVIA**

Uno de los más importantes sectores en la minería en Bolivia está constituido por la minería cooperativizada y artesanal, la generación de empleo en cooperativas mineras es importante, ya que estas generan entre el 66% y 85% del empleo del sector minero, la minerva mediana entre el 6% y 19%, las cooperativas son altamente intensivas en trabajo y, por el contrario, poco intensivas en capital.

Las cooperativas mineras "tradicionales" explotan yacimientos de estaño, wolframio, complejos de plomo-plata-zinc, antimonio y bismuto. En la mayoría de los casos trabajan en minas antiguas de Comibol, y están conformadas por los mismos ex- trabajadores de esta empresa estatal.

Mientras una parte de los mineros vende el mineral extraído a ingenios mecanizados particulares, que procesan la carga utilizando equipos como chancadoras, molinos, mesas concentradoras, etc., o más sofisticadamente mediante flotación (en el caso de complejos en la ciudad de Potosí), otra parte realiza su propia concentración rústicamente utilizando quimbaletes (son molinos rústicos usados para moler el mineral aurífero y recuperar el oro con mercurio), champalavadores, maritales y buddles, sobre todo en la minería del estaño y wolfram.

Existe un número considerable de pequeñas empresas (minería chica), que trabajan en minerales tradicionales. Sus actividades se centran en minas de antimonio (parcialmente con oro), complejos (plomo-plata-zinc) y alguna en estaño y wolframio. Generalmente estas empresas trabajan en forma mecanizada, tanto en la explotación o extracción de la carga como en la concentración, tratando poco tonelaje (<50 t/día). Aunque existen algunas operaciones que cuentan con diques de colas rústicos, el impacto ambiental de estas minas (emisión de aguas ácidas de mina, efluentes de flotación y de sólidos a los ríos, etc.) es grave. Muchas de estas empresas disponen de ingenieros mineros o metalurgistas, que solamente se preocupan de la producción, no del medio ambiente.

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 70.000 personas (mineros, sus familias y otra gente dedicada a actividades complementarias o periféricas).

Normalmente los mismos mineros en forma individual o en pequeños grupos procesan su propia carga extraída de la mina, en ingenios rústicos. No disponen de ningún sistema de retención de sus colas, que en la mayoría de los casos son piritosas y son descargadas directamente a los ríos. Los "relaveros", que retratan colas antiguas, utilizan la misma tecnología rústica descrita. Estos destruyen además diques antiguos de colas- que las ex -empresas construyeron- para recuperar algo del mineral valioso aún contenido, para luego descartar las nuevas colas a los ríos.

Por otro lado, las Cooperativas Auríferas Aluviales, que operan en casi todo el territorio de Bolivia, lo hacen muy especialmente en la región de la pendiente oriental de los Andes, y en la parte baja hasta la frontera con Brasil. Los aluviones son generalmente explotados por medio de minería a cielo abierto, en algunos casos por cuadros profundos enmaderados que atraviesan capas de grava suelta. Desde el punto de vista netamente minero, se utilizan toda la gama de posibilidades técnicas, desde la picota y pala, hasta equipos pesados para el movimiento de grandes volúmenes de tierra, con valores de cientos de miles de dólares; desde socavones donde solo se pueden avanzar a gatas, hasta pozos de extracción muy grandes o cuadros verticales hasta de varios cientos de metros. Para el transporte del material aurífero, se utiliza desde bolsas metaleras o carretillas hasta palas cargadoras (frontales) y camiones de volteo grandes. Para la separación de oro de la grava utilizan canaletas (lavaderos), después de un descarte por clasificación del material grueso estéril, mediante cribas estáticas o vibratorias.

Las cooperativas grandes disponen de moderna maquinaria pesada (tractores, palas frontales, retroexcavadoras, volquetas, etc.) que mueve grandes volúmenes de material (estéril y aurífero), que generalmente es "empujado" a los ríos después del proceso de extracción del oro. Esta práctica está causando un grave impacto ambiental por la lodificación de los ríos y la alteración de sus cursos. También se altera el paisaje, por la destrucción de terrazas y fértiles, sin ninguna intención de restauración. La capacidad de estas cooperativas en algunos casos llega hasta 1000 m<sup>3</sup>/día en materiales extraídos.

Respecto a las Cooperativas Auríferas Primarias se debe destacar que trabajan sobre yacimientos primarios (roca dura), que contienen vetas de cuarzo aurífero, acompañados generalmente de sulfuros metálicos o sus óxidos. El oro se presenta tanto como oro visible macroscópicamente sobre el cuarzo, como también entrecrecido con los sulfuros. Las vetas son explotadas manualmente y con la ayuda de compresoras de aire y perforadoras neumáticas; el uso de explosivos también es común.

Generalmente el desarrollo de la explotación no avanza sistemáticamente, preferentemente se arrancan las zonas enriquecidas, explotándolas a veces en una forma sumamente peligrosa (sin dejar puentes de seguridad, y vaciando grandes rajos).

La preparación del material y el beneficio del oro se lleva a cabo utilizando diferentes esquemas.

Además en la minería aurífera existe un fuerte componente informal, expresado en los denominados "barranquilleros".

En general, las técnicas de procesamiento utilizadas 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 como bateas, canaletas, etc., hasta equipos modernos que se diferencian muy poco de los utilizados por la minería sofisticada (mesas concentradoras, espirales concentradoras, centrífugas, etc.).

La última etapa se suele realizar sin ningún equipo para recuperar mercurio, y sin utilizar implemento de seguridad alguno contra los vapores de éste. Suelen utilizar varias fuentes de calor que van desde el carbón vegetal a 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 irremediamente en las colas durante el proceso de lavado en batea para separar la amalgama gruesa. Luego, la amalgama es quemada al aire libre para evaporar el mercurio.

Así mismo es empleado el llamado "molino chileno" o "trapiche", donde utilizan placas amalgamadoras o una canaleta empedrada, o también es común el uso de pequeñas trituradoras de mandíbulas, mesas concentradoras, etc. Generalmente, la recuperación de oro en las plantas de procesamiento en las minas primarias es baja, debido a que parte del oro muchas veces no es recuperable con sus métodos rústicos de concentración gravimétrica o por amalgamación. Además 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 tienen 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. 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 (en Bolivia la pequeña minería aurífera no utiliza aún la lixiviación cianurante en sustitución de la amalgamación).

A su vez el proceso de amalgamación puede ser "in situ", en canaletas, molinos, en amalgamadores tipo "jackpot", con planchas amalgamadoras, de forma manual, o bien en tambores amalgamadores. 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.

La amalgamación en canaletas es practicada tanto en la minería de oro aluvial como en la primaria. En este caso, 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 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 sucia). 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.

Si se utilizan molinos, el mercurio se vierte dentro del equipo de molienda y la amalgamación del oro se lleva a cabo en circuito abierto. Este tipo de amalgamación se puede realizar en molinos a bolas, de pisones, chilenos, manuales o 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, son muy altas.

El oro también puede ser 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. Estos amalgamadores deberían ser evitados por sus altas pérdidas de mercurio, especialmente con carga gruesa.

En cuanto a las planchas amalgamadoras, éstas se utilizan en la minería primaria para la recuperación de oro fino (molido); por esto, se colocan a la salida del molino. La pulpa (mezcla de mineral con agua) corre sobre las planchas de cobre o metal (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. 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.

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

### **PRODUCCIÓN LIMPIA EN LA INDUSTRIA MINERA**

El artículo 22 del Código de Minería destaca que el Estado establecerá mecanismos de fomento, asistencia técnica y políticas de financiamiento para el desarrollo de la minería chica y cooperativa. Asimismo, establecerá sistemas de incentivos para la protección ambiental en las operaciones de la minería, y el art 85 establece que: *el estado establecerá mecanismos financieros o tributarios para facilitar el control de flujos contaminantes.....*, Sin embargo este no fue cumplido ya que actualmente los pasivos ambientales producto de esta actividad, se encuentran en una gran parte del país, sin ningún tipo de remediación o mitigación de estos, por lo cual es importante que Bolivia incorpore una política de Estado para la incorporación de Tecnologías Limpias a la industria minera.

Así mismo debemos hacer notar que dentro de la política ambiental de los últimos años implementada por el gobierno se intento hacer cumplir la legislación ambiental vigente, sin resultados aparentes, a pesar de los esfuerzos de las autoridades. Con este fin se promulga el Decreto Supremo 25419 de 11 junio de 1999 en el que establecen plazos para la presentación de Manifiestos Ambientales (obtención de la licencia

ambiental de funcionamiento) para operaciones mineras, dividiéndolas en tres categorías: explotación de áridos hasta el 31 de agosto de 1999, explotación a cielo abierto y aluvial hasta el 29 de octubre de 1999 y explotación tradicional hasta el 31 de diciembre de 1999. Pese a haber hecho una gran campaña de difusión de este Decreto, no se lograron los resultados esperados con su promulgación y hasta la fecha la mayor parte de las operaciones mineras en general y de la pequeña minería en particular siguen funcionando sin ningún tipo de licencia ambiental. Siguiendo los mismos procedimientos, se promulga el Decreto Supremo 25877 del 24 de agosto de 2000, que refiere a un nuevo plazo para la presentación de Manifiestos Ambientales. El plazo dado en este último Decreto es el 23 de agosto de 2001.

Desde esta perspectiva, desarrollar una política que fomente la producción limpia representa un gran reto al sector minero de forma de lograr actividades mineras que sean efectivas, tanto productiva como ambientalmente.

El tema de la producción limpia debe necesariamente reconocer las diferencias entre grandes, medianas y pequeñas empresas mineras. Las grandes empresas poseen los recursos económicos y humanos para implementar políticas de producción limpia, sin embargo, la pequeña minería no están en condiciones de hacerlo, es aquí donde el Estado juega un Rol relevante para difundir y apoyar a los cooperativistas mineros, y minería artesanal ya que estos se constituyen en la actualidad en la principal fuente de contaminación por minería en Bolivia.

La implementación de una política de Estado que patrocine e implemente una gestión ambiental integral, desde la etapa de planificación hasta el cierre de las faenas mineras, promoviendo una producción limpia en el sector minero que permita a la vez mejorar la eficiencia productiva y operacional de este sector así como también, mejorar su desempeño ambiental, con una permanente aplicación de una estrategia ambiental preventiva, aplicada a los procesos, productos y servicios relacionados al sector minero, con el fin de aumentar la eficiencia y competitividad de las empresas, prevenir la generación de residuos en la fuente y reducir el riesgo sobre la población y el medio ambiente.

- Esta política minera de producción limpia debe contemplar los siguientes aspectos:
- Prevenir la contaminación en el origen.
- Generar mecanismos de Transferencia Tecnológica (Aplicación de Tecnologías Limpias).
- Incorporar en la gestión global de las empresas el concepto de producción limpia
- Generar un de mecanismos de incentivo

- Reforzamiento de la capacidad institucional del estado en materia minera y ambientales
- Transferencia de Tecnologías Limpias desde países desarrollados, así como también, promover el desarrollo de Tecnologías Limpias nacionales. Se deberá contemplar la oportunidad de promover la transferencia tecnológica en el ámbito de la minería, fundición y refinación, a través de tecnologías tanto pirometalúrgicas como hidrometalúrgicas. En este contexto, se coordinarán actividades con Universidades y Centros de Investigación en el ámbito nacional e internacional.

**LA CONCENTRACION CENTRIFUGA, UNA ALTERNATIVA PARA  
RECUPERAR ORO FINO A PARTIR DE RESIDUOS GRAVIMETRICOS Y  
SU RELACION CON LA MITIGACION AMBIENTAL**

*Armando Álvarez Quispe*

Profesor Investigador del Instituto de Investigaciones en  
Metalurgia y Materiales -Facultad de Ingeniería -  
Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)  
e-mail: [armando-1781@hotmail.com](mailto:armando-1781@hotmail.com)  
Tel./Fax 591 - 2 - 2210402  
Bolivia

---

**RESUMEN**

En el departamento de La Paz, una de las principales actividades mineras corresponde a la explotación de yacimientos auríferos, labor realizada generalmente por la Minería Pequeña. Este sector, debido a la aplicación de procedimientos rudimentarios con escasa instalación de maquinarias y uso de procedimientos poco adecuados, en muchos casos vulnerando la ley de Medio Ambiente, descarta residuos con alto contenido de oro, que repercute negativamente en su actividad.

En el presente trabajo se analiza la aplicación de la tecnología de centrifugación para recuperar oro en granulometría fina a partir de residuos gravimétricos, tecnología considerada como limpia, que reduce significativamente el uso de mercurio y mitiga la contaminación ambiental.

Para constatar esto, se realizan trabajos experimentales a escala de laboratorio utilizando la muestra proveniente de la Cooperativa Aurífera "Virgen del Rosario" Ltda., situada al norte del Departamento de La Paz.

Los resultados obtenidos demostraron la aplicabilidad de esta tecnología en la solución de los problemas citados y su implementación permitirá mejorar la recuperación de oro en beneficio directo del sector.

**ANTECEDENTES**

La aplicación de fuerzas centrifugas en procesos industriales data desde hace muchos años atrás, sin embargo, recién en los últimos años, ha encontrado una real aplicación en los diferentes procesos en la industria.

Uno de ellos corresponde al enriquecimiento de minerales, cuya aplicación fue casi inmediata en la minería grande y mediana, pero no en el sector de la minería pequeña (empresarios pequeños y organizaciones de minería cooperativizada), que es la que predomina en el Departamento de La Paz., pues, este sector alberga a alrededor de 150 cooperativas con mas de 15000 trabajadores con una marcada tendencia a ir aumentando el numero de cooperativas<sup>(1)</sup>.

En la pequeña minería, una modalidad para la recuperación de oro es el uso de mercurio ya sea en circuito abierto (molino trapiche donde se introduce mercurio junto con la carga) o previa preconcentración gravimétrica en mesas vibradoras y/o canaletas seguida de una operación de amalgamación de preconcentrados (circuito cerrado). En ambos procedimientos se constata la pérdida de oro en rangos de tamaño considerados como finos (100 a 10  $\mu\text{m}$ ) y ultra finos (10 a 1  $\mu\text{m}$ ), de difícil recuperación por procedimientos gravimétricos convencionales, particularmente a partir de minerales refractarios como las piritas auríferas, frecuentes en los yacimientos primarios<sup>(1)</sup>, a ello se suma la pérdida de mercurio en los productos de descarte final (colas) en forma de harina de mercurio contaminando una gran cantidad de material y por ende el medio ambiente.

Una de las alternativas para la recuperación del metal precioso a partir de colas de concentración gravimétrica, particularmente en el sector de la minería cooperativizada, puede ser la utilización de los novedosos equipos centrífugos que aumentan la diferencia de los pesos específicos del material valioso respecto al del estéril, permitiendo así, recuperar valores en rangos de tamaño muy finos (menores a 75  $\mu\text{m}$ ).

## OBJETIVO

En base al análisis de las variables operacionales del centrifugador Falcon SB-40, se desarrollan pruebas de recuperación de oro a partir de diferentes muestras colas relaves del sector de la pequeña minería, para sugerir un procedimiento que permita recuperar valores de oro fino aplicando una tecnología limpia (sin contaminación por mercurio).

## MARCO TEÓRICO

### Introducción

La concentración gravimétrica convencional es uno de los procedimientos más simples y la más económica respecto a otros procedimientos de enriquecimiento de minerales; permite recuperar valores en un rango bastante amplio, donde las partículas de mineral son separadas debido a su diferencia de densidad. Cuanto mayor es la diferencia en la densidad de dos minerales componentes de una mena, mayor será la facilidad con que se efectúe la separación. La posibilidad de que dos partículas puedan ser separadas por concentración gravimétrica puede ser cuantificada por el Criterio de Concentrabilidad de Taggart (Q)<sup>(2)</sup> definido por la ecuación:

$$Q = \frac{D_p - D_m}{D_l - D_m}$$

Donde:  $D_p$  = Densidad de partículas pesadas

$D_l$  = Densidad de las partículas livianas

$D_m$  = Densidad del medio fluido de separación

i "Q" es mayor a 2.5, entonces la concentración por gravedad es relativamente sencilla. Si el valor de "Q" es menor a 2.5, la eficiencia de separación decrece, y por debajo de 1.25, la separación no es comercialmente posible.

Los procedimientos gravimétricos convencionales permiten recuperar con relativo éxito partículas mayores a  $75\mu\text{m}$ , sin embargo, cuanto menor es el tamaño de estas, mayor es la importancia que adquieren las fuerzas de viscosidad y fluidez en relación a la densidad; de ahí que la eficiencia en la separación disminuya drásticamente cuando las partículas son más finas, donde la diferencia entre los pesos específicos tiende a minimizarse hasta desaparecer.

Una alternativa para el procesamiento de partículas finas es a través de la sustitución de las fuerzas gravitacionales por fuerzas centrífugas, estas últimas aumentan la diferencia entre los pesos específicos de partículas de tamaño fino a un rango mucho más amplio, propiedad que es aprovechada para la separación sólido - sólido, por los diferentes equipos de centrifugación<sup>(3)</sup>.

### Concentración centrífuga

Todos los fenómenos y fuerzas que interaccionan en la concentración gravimétrica también actúan en la concentración centrífuga, algunos fenómenos son de mayor importancia que otros. Cuando se desea sedimentar partículas finas, es necesario aumentar la fuerza requerida para vencer la resistencia del fluido, fuerza que es conocida como fuerza centrífuga que obedece a la ecuación<sup>(4)</sup>:

$$F_c = (m - m')\omega^2 R - F_R = m \frac{\partial v_t}{\partial t}$$

Donde:  $F_c$  = Fuerza Centrífuga

$m$  = Masa de la partícula

$m'$  = Masa del fluido desalojado

$\omega$  = Velocidad Angular

$R$  = Radio de giro de la partícula

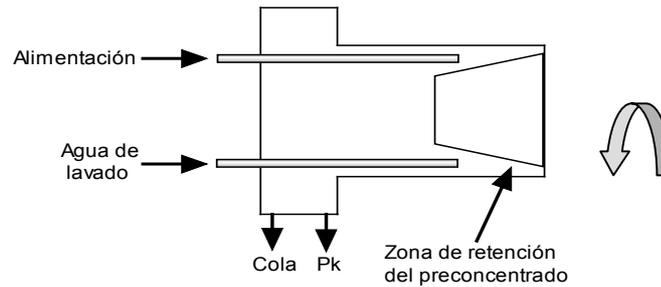
$F_R$  = Fuerza de Resistencia del fluido

$v_t$  = Velocidad tangencial

En la industria mineralúrgica, los equipos que trabajan con el principio de centrifugación se pueden clasificar en tres grandes grupos <sup>(5)</sup>, estos son:

### 1. Centrífugas de lecho sedimentado (centrífuga china)

Adquiere la configuración de un tubo rotatorio instalado en un eje horizontal que gira a altas revoluciones por minuto. Se caracteriza por trabajar en forma discontinua <sup>(5)</sup>. La alimentación de la pulpa al interior del rotor (carga) está de 2,5 a 3,5 minutos, en cuyo lapso de tiempo, las partículas más pesadas, como consecuencia de la fuerza centrífuga ejercida sobre ellas, tienden a sedimentarse sobre la pared más rápidamente, respecto a las livianas; el lavado del material sedimentado (descarga) se realiza entre 0,5 a 1 minuto. En la figura 1 se observa la configuración del equipo con los dispositivos de alimentación de pulpa y agua.



**Figura 1 - Esquematización de un Centrífugador Chino, Lou y Lin, 1981**

### 2. Centrífugas de lecho fluidizado (Knelson, Falcon, y otros)

Se caracterizan por trabajar con el movimiento de rotación y el proceso de fluidización en el rotor. La pieza principal de las centrifugas de lecho fluidizado es el tazón o cilindro rotante, donde la geometría del rotor adquiere una configuración distinta de acuerdo a los fabricantes.

En la operación de la centrifuga Knelson (figura 2), el agua se inyecta al rotor mediante una serie de orificios de fluidización, luego se introduce la pulpa a través de un tubo central vertical, la cual, en la base del tazón, debido a la fuerza centrífuga, es forzada a desplazarse por la parte exterior, subiendo por la pared del tazón, donde las partículas pesadas, una vez que se ha alcanzado la fluidización óptima, son atrapadas entre los rifles, creando así un lecho en el que se produce la concentración. Las partículas livianas son descargadas por la parte superior del tazón.

El cilindro rotante de la centrifuga Falcon, internamente, en la parte inferior, adquiere una forma cónica y en la parte superior una

configuración cilíndrica en forma de anillos<sup>(6,9)</sup>. En su operación, la pulpa es alimentada mediante un tubo central vertical al interior del rotor que gira a altas velocidades. Esta fuerza centrífuga aumenta la diferencia de la gravedad específica y la geometría del rotor facilita la retención de las partículas pesadas en preferencia a las partículas de menor peso específico, que son rechazadas por la parte superior del rotor en forma de rebose conjuntamente el agua del proceso, como se muestra en la figura 3. La inyección de agua a presión entre los rifles del rotor facilita la eficiencia de separación.



Figura 2 - Centrifuga Knelson

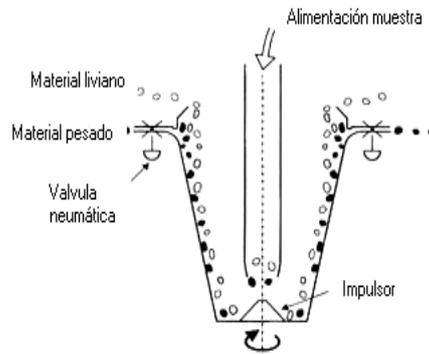


Figura 3 - Separación en la centrifuga Falcon

### 3. Centrifugas de lecho fluidizado pulsante (Jig Kelsey, concentrador MGS)

Los equipos de este grupo, además de utilizar el movimiento de rotación y agua de fluidización, utilizan un movimiento de pulsación similar al que se observan en los jigs y mesas vibratoras convencionales.

El jig centrífugo Kelsey, concebido a partir del jig Harz instalado en posición horizontal (Figura 4), emplea un mecanismo complicado que hace rotar la criba para generar el campo centrífugo, y un diafragma instalado detrás de la criba, donde ingresa agua a presión, permite el movimiento de la cama pulsante<sup>(7)</sup>. La alimentación de la pulpa se realiza a través de una tobera vertical central, que luego de llegar a la parte superior de la cama pulsante y la generación de una fuerza centrífuga en el equipo, dá lugar a la formación de dos corrientes de partículas, las livianas y de menor peso específico (que no atraviesan la cama) rebosan por la parte superior de la criba (colas) y la corriente pesada atraviesa la cama pulsante para descargarse como producto concentrado.

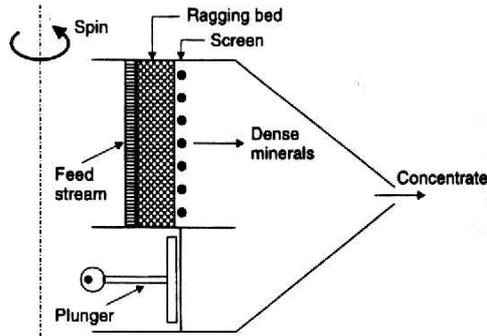


Figura 4 - El jig Kelsey

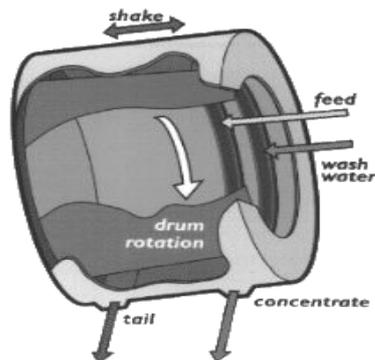


Figura 5 - Separador Multi Gravimétrico (MGS).

El concentrador Multy Gravity Separator (MGS) se asemeja a una mesa vibratoria, en la que la tradicional superficie horizontal se encuentra envuelta en un cilindro cónico. La separación de las partículas pesadas respecto de las livianas se realiza por el efecto de la fuerza centrífuga y el cizallamiento producido por el campo oscilatorio del MGS. Las partículas

pesadas se pegan a las paredes del tambor y luego son transportadas por los raspadores con dirección a la zona de descarga del concentrado y las partículas livianas son arrastradas en contra corriente por el flujo del agua de lavado a un extremo del tambor donde son descargadas<sup>(8)</sup>.

## **EXPERIMENTACIÓN METALURGICA**

### **Caracterización de la muestra**

Se utilizaron aproximadamente 200 kg de muestra colas relaves de la Cooperativa Minera "Virgen del Rosario" Ltda., ubicada al Norte del Departamento de La Paz. Sus principales características son:

Análisis químico del común = 7.03 g Au/t.

Peso específico real = 2.88 g/cm<sup>3</sup>

Peso específico aparente = 1.60 g/cm<sup>3</sup>

El análisis granulométrico muestra que el material original es 100 % menor a 20 mallas (0.850 mm.). El  $d_{80}$  de la muestra es 425 micrones. La distribución de valores en rangos de tamaño de partícula mayores a 35 y menores a 150 mallas son aproximadamente similares, observándose variaciones más importantes en rangos de tamaños comprendidos entre -35+150 mallas. Esta característica permite establecer la necesidad de reducir en tamaño la citada muestra a fin de obtener la liberación adecuada de valores de oro.

El estudio mineralógico y grado de liberación de oro, permiten establecer lo siguiente:

- Los principales minerales de la muestra son: Cuarzo, Rocas, Pirita, Arsenopirita y Pirrotina.
- En cantidades pequeñas se observaron: Calcopirita, Esfalerita, Jamesonita, Galena y Carbonatos.
- El oro ha sido clasificado como de grano grueso (30 a 50 micrones) y oro fino (2,5 a 7,5 micrones).
- El oro de grano grueso es observado libre de asociación y sólo asociado con cuarzo, mientras que el oro fino se presente como fina inclusión en arsenopirita y menos frecuente en pirita.
- El oro de grano grueso tiene una liberación del 100 % en las mallas -100+150 y -150 Mallas.
- El oro de grano fino no presenta ningún grado de liberación.

### Procedimiento Experimental

Las pruebas se han planificado para analizar el efecto de las variables (factores): Contrapresión de agua (A), Fuerza Centrífuga (B) y Tamaño de Grano (C) en la recuperación de oro en el preconcentrador Falcon SB-40. Para el desarrollo de las pruebas se ha considerado el diseño factorial de  $2^3$ , es decir, tomando en cuenta 3 factores y dos niveles (máximo y mínimo) <sup>(10)</sup>. El número de pruebas y las combinaciones se muestran en tabla 1.

**Tabla 1 - Algoritmo de Yates**

N°	COMBINACIONES	DISEÑO			(A) presión agua [PSI]	(B) Fuerza centrífuga [G]	(C) Tamaño grano [µm/ MALLA]
		A	B	C			
1	1	-	-	-	2	100	45 / 325
2	A	+	-	-	6	100	45 / 325
3	B	-	+	-	2	300	45 / 325
4	AB	+	+	-	6	300	45 / 325
5	C	-	-	+	2	100	212 / 65
6	AC	+	-	+	6	100	212 / 65
7	BC	-	+	+	2	300	212 / 65
8	ABC	+	+	+	6	300	212 / 65

Cada uno de estos factores varía en dos niveles: "+" (nivel más alto) y "-" (nivel más bajo).

El porcentaje de sólidos y el caudal de alimentación fueron mantenidas constantes en 35 % y 1.325 l/min respectivamente. El resumen de las etapas para cada una de las pruebas es como sigue:

- Molienda de la muestra a 80 % peso paso (al tamaño de corte requerido).
- Preconcentración de la fracción preparada.
- Amalgamación de los productos preconcentrados para recuperar oro físico libre.
- Análisis químico por oro en el preconcentrado (residuo de amalgamación).
- Flotación colectiva de sulfuros a partir de las colas del centrifugador Falcon.
- Amalgamación de producto flotado (Float) para cuantificar el escape de oro físico libre.
- Análisis químico de las colas de amalgamación del producto flotado.

- Balance Metalúrgico.

A los resultados obtenidos en las pruebas preliminares (Tabla 2), se aplicó el análisis de varianza por medio del algoritmo de *Yates* para cuantificar la influencia de los factores en la respuesta, así como la combinación de los mismos. Para este fin se ha desarrollado un programa en *Visual Basic* para obtener directamente la Suma de Cuadrados, dato importante para decidir las nuevas pruebas y definir la variable más influyente en la respuesta.

**Tabla 2 - Resultados Preliminares**

Nº	A	B	C	y <sub>i</sub>
1	-	-	-	84.0
2	+	-	-	<b>78.3</b>
3	-	+	-	<b>92.1</b>
4	+	+	-	<b>68.4</b>
5	-	-	+	<b>39.1</b>
6	+	-	+	<b>60.8</b>
7	-	+	+	<b>68.7</b>
8	+	+	+	<b>60.5</b>

El análisis de varianza correspondiente se muestra en tabla 3.

**Tabla 3 - Diseño del ANAVA**

PUNTOS DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANZA	RELACION DE VARIANZA
Efectos Principales				
A	31,60125	1	31,60125	<b>0,192850768</b>
B	94,53125	1	94,53125	<b>0,576889336</b>
C	1097,46125	1	1097,46125	<b>6,697401042</b>
Interacciones				
AB	286,80125	1		
AC	230,05125	1		
BC	120,90125	1		
ABC	17,70125	1		
<b>Suma</b>	<b>655,455</b>	<b>4</b>	<b>163,86375</b>	

El análisis de la influencia de los factores en la respuesta ha dado lugar al diseño de una nueva serie de pruebas que complementa los resultados iniciales y nos lleva a diseñar el modelo matemático, además de definir las variables más influyentes. Los resultados se muestran en Tabla 4.

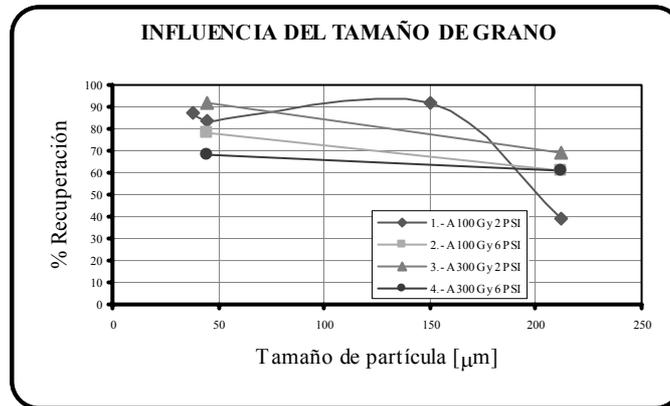
**Tabla 4 - Diseño de Pruebas complementarias**

N°	A [PSI]	B [G]	C [ $\mu\text{m}$ ]	Y <sub>i</sub>
1	1	100	45	<b>74.5</b>
2	4	100	45	<b>93.7</b>
3	2	60	45	<b>86.5</b>
4	2	200	45	<b>91.7</b>
5	2	100	38	<b>87.4</b>
6	2	100	150	<b>91.7</b>

**EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

**A. Granulometría de Alimentación**

En figura 6 se muestra el resumen del efecto de la granulometría de alimentación sobre la recuperación, gráficos obtenidos a fuerzas centrífugas y presión de agua variables en el proceso de enriquecimiento del mineral en estudio. Este gráfico indica que a medida que disminuye el tamaño de grano, mejora la recuperación, como se observa en cada uno de los casos, percibiéndose una mejor recuperación a 300 G y 2 PSI, y la más baja, en condiciones de 300 G y 6 PSI, estableciéndose la importancia de la contra presión de agua, respecto de la fuerza centrífuga, sin embargo una recuperación igual a la obtenida a 300 G y 2 PSI es alcanzada en otras condiciones de trabajo, 100 G y 2 PSI.



**Figura 6 - Efecto del Tamaño de Grano de Alimentación**

La curva (1) muestra gráficamente lo innecesario de realizar moliendas muy finas, para obtener buena liberación de los valores de la

muestra y por ende conseguir mejores recuperaciones. Pues como se observa en esta curva, al realizar una molienda a 38  $\mu\text{m}$  sólo conseguimos mejorar levemente la recuperación obtenida a 45  $\mu\text{m}$ .

### B. Contrapresión de Agua

El efecto de la presión de agua en el proceso concentración por centrifugación, ilustrado en las curvas y representadas en figura 7, sugieren que el efecto de la misma es en sentido negativo como se observa en las curvas 1, 3 y 4, pues a medida que la presión aumenta la recuperación sufre un descenso no deseado. La curva 2 muestra una variante inusual a esta tendencia, pues, para 100 G de fuerza centrífuga y 212  $\mu\text{m}$  de tamaño de grano, aumenta la recuperación a medida que aumenta la presión de agua, sin embargo la recuperación alcanzada con dicho tamaño de grano no es suficiente.

No obstante a estas primeras inferencias, las pruebas complementarias consignadas en curva 1, indican que existe un rango en la variación de la presión para el cual se obtienen recuperaciones óptimas.

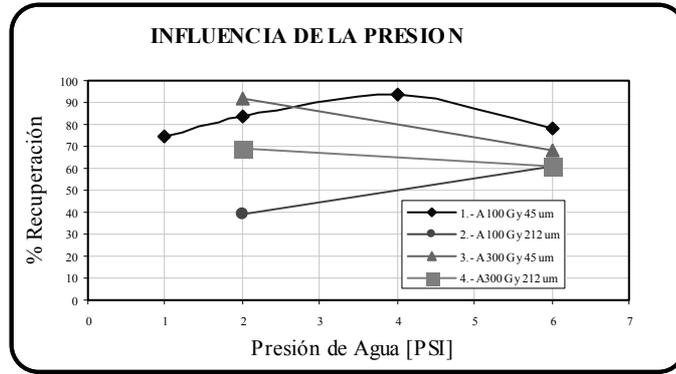
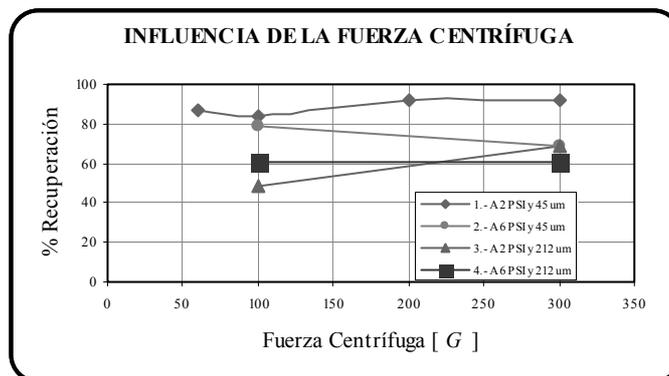


Figura 7 - Efecto de la Contra presión de agua

### C. Fuerza Centrífuga

El efecto de la fuerza centrífuga aplicada al proceso de concentración centrífuga, en teoría debería de ser la variable más influyente sobre dicho proceso, sin embargo, las pendientes obtenidas en las curvas de figura 8, plantean lo contrario, ya que en la mayoría de los casos se observan rectas con pendientes con relativa inclinación, a excepción de la recta 3, para 2 PSI y 212  $\mu\text{m}$ , que describe un incremento sustancial en la recuperación a medida que aumenta la fuerza centrífuga.

Las pruebas complementarias confirman que la fuerza centrífuga no genera un cambio sustancial en la recuperación, particularmente en el rango de 200 a 300 G, en la concentración por centrifugación.



**Figura 8 - Efecto de la Fuerza Centrífuga**

### 1) Modelación Matemática

Por las observaciones remarcadas en la evaluación de las variables, para obtener la matriz de coeficientes de la ecuación matemática que rige el proceso de concentración por centrifugación, se utilizan aquellos resultados donde la fuerza centrífuga permanece constante, igual a 100 G. Un resumen de los datos utilizados en la modelación matemática se presenta en tabla 5:

**Tabla 5 - Datos para la modelación**

N°	Presión $x_1$	Tamaño de Grano $x_2$	Fuerza Centrífuga	$Y_i$
1	1	45	100	<b>74.5</b>
2	2	45	100	<b>84.0</b>
3	4	45	100	<b>93.7</b>
4	6	45	100	<b>78.3</b>
5	2	212	100	<b>39.1</b>
6	2	150	100	<b>91.7</b>
7	2	38	100	<b>87.4</b>
8	6	212	100	<b>60.8</b>

La ecuación propuesta para la modelación es la siguiente:

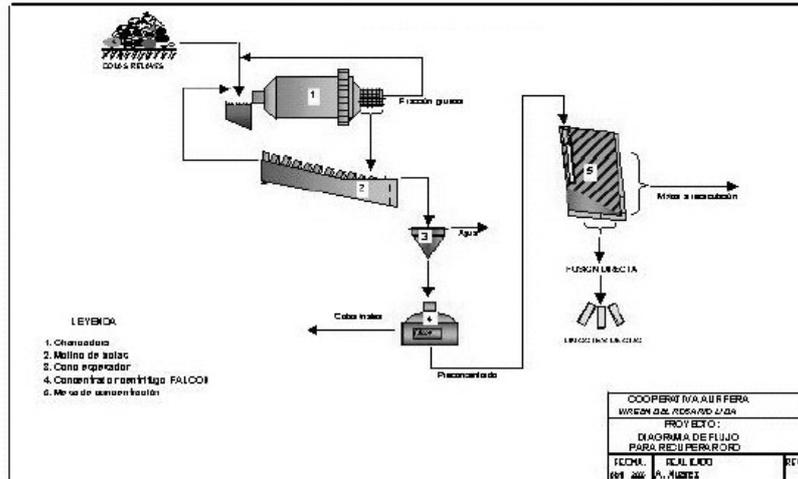
$$Y=114,73+3,46x_1-11,27x_1^2-17,29x_2-36,11x_2^2+7,28x_1x_2$$

**2) Procesamiento de otras muestras**

En tabla 6 se consignan los resultados obtenidos en el procesamiento de diferentes muestras de residuos de plantas de concentración gravimétrica del sector de la Minería Pequeña Cooperativizada. En la figura 9 se propone el diagrama de flujo correspondiente para el tratamiento de las mencionadas cargas auríferas.

**Tabla 6 - Resultados obtenidos con varias muestras de colas relaves**

Presión de Agua [lb/pulg <sup>2</sup> ]	Fuerza Centrifuga (G)	Molienda 100 % menor a:	Ley Cabeza Au [g/t]	% Recua.	Características de la muestra	Cooperativa
2	300	-212 [um]	12,00	93,06	Muy poca pirita	San Vicente - Prov. Larecaja
3	300	-75 [um]	46,00	76,05	Piritas auríferas	Kantuta - Prov. Nor Yugas
4	200	-75 [um]	39,40	67,30	Piritas auríferas	Cotapata - Prov. Nor Yugas
2	200	-150 [um]	6,10	86,33	Muy poca pirita	Rayo Rojo - Prov. Franz Tamayo



**Figura 9 – Flujograma para el procesamiento de oro proveniente de relaves antiguos**

### CONCLUSIONES

De la experimentación metalúrgica a escala laboratorio con la muestra colas relaves de la Cooperativa "Virgen del Rosario" Ltda., se concluye lo siguiente:

- Las variables más influyentes en el trabajo de la centrífuga Falcon SB-40 son el tamaño de alimentación y la presión de agua de fluidización, ya que por sí mismas generan importantes cambios en la variable respuesta.
- La variables fuerza centrífuga resulta ser de menor influencia, especialmente si se mantiene en el rango de 200 a 300 G, aunque resulta ser significativa en combinación con la contrapresión de agua.
- Cuando la carga se reduce a 80 % - 325 mallas, se alcanza muy buena liberación de valores, y en estas granulometrías se logran las máximas recuperaciones (90 a 93 %), trabajando entre 2 a 4 PSI de presión de agua y 200 a 300 G's de fuerza centrífuga.
- El uso del centrifugo Falcon como preconcentrador de cargas auríferas y mesas vibrantes lameras o mesas Gemini instaladas para la limpieza de preconcentrados pueden permitir recuperaciones de oro elevadas respecto al total del metal precioso alimentado al proceso.

- La concentración centrífuga, por ser considerada como una tecnología que no contamina el medio ambiente, constituye una alternativa real para el procesamiento de pasivos ambientales donde los valores se encuentran en granulometría fina.
- Los resultados obtenidos con varias muestras de colas relaves, del sector de la minería cooperativizada, muestran que pueden ser reprocesados aplicando procedimientos nuevos cuyos flujogramas utilicen equipos centrifugadores que permiten recuperar valores en el rango de tamaños muy finos.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- 1) Hinojosa D. Jaime, Diagnostico socio económico de la minería aurífera primaria en la Provincia Larecaja: Sector Yani Liguata, Departamento de La Paz, 1996, MEDMIN – COTESU, La Paz – Bolivia.
- 2) Taggart, Arthur F., Elementos de Preparación de Minerales, Ediciones Interciencia, 1968, Madrid.
- 3) Cliffoord D., Concentración Gravimétrica, Mining Journal – Edición en español, Septiembre, 1999.
- 4) Casseres Carrisso Regina Coeli, Pinto Chaves Arthur, Mecanismos Actuantes na Concentração Gravítica e Principais Equipamentos Utilizados na Concentração Centrífuga, Série Tecnologia Mineral.
- 5) Hinojosa O., Salas A. Concentración centrífuga de menas estanníferas, III Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, Oruro – Bolivia, 1998.
- 6) FALCON CONCENTRATORS INC, Manual de Operación del Centrifugador Falcon Modelo SB40.
- 7) Mozley Multi-Gravity Separator Systems, Richard Mozley Limited
- 8) Roche MT Workshop 2002-Gold Coast, A new world of mineral processing solutions, Roche Mining, a Division of Downer edit Limited, Mineral Technologies.
- 9) Fedotov K. V., Beloborodov V. I., Leonov S. B. and Iestra K. H., Recovery of fine gold using efficient gravity separators, Proceedings of the IMPC, Aachen, 21 – 26 September 1997.
- 10) Montealegre J. Raúl, Diseño Experimental con Aplicaciones a la Metalurgia Extractiva, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico OEA, Proyecto Multinacional en Concentración de Minerales.

**PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA MEJORAR ÍNDICES DE  
PRODUCCIÓN EN MINERÍA PEQUEÑA Y COOPERATIVA: EL ROL DE  
LA ESCUELA DE MINERÍA DEL SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y  
TECNICO DE MINAS (SERGEOTECMIN)**

*Renato Veneros*  
Ingeniero de Minas, M Eng.  
Coordinador  
Proyecto Escuela de Minería  
SERGEOTECMIN  
La Paz, BOLIVIA

---

**ANTECEDENTES**

En 1971, en Oruro se fundó la Escuela de Minería Boliviana Austriaca para capacitar trabajadores mineros. El proyecto obedeció a una sentida necesidad de contar con mano de obra calificada que enfrentaba entonces la Corporación Minera de Bolivia (Comibol). En esa primera fase de trabajo se realizó un primer curso certificando a 42 laboreros de diferentes centros mineros de la Comibol. Entre 1973 y 1975 (2ª fase de operación), se llevó a cabo el entrenamiento de 245 mineros bolivianos en minas de empresas mineras chicas, medianas y de la Comibol. A partir de 1975, el Instituto de Investigaciones Minero Metalúrgicas (IIMM) se hizo cargo de la contraparte boliviana en lo que vino a constituir la 3ª fase de operación de la Escuela.

El IIMM construyó en Chiripujio, Oruro, un centro propio sobre 6 hectáreas de terreno contando con aulas, oficinas, talleres, almacenes, adquiriendo al mismo tiempo una propiedad minera en la que se desarrolló y preparó una mina experimental para realizar prácticas: Cochiraya. Por su parte el Gobierno Austriaco dotó a la Escuela con maquinaria, equipos, materiales, herramientas, moviidades y otras facilidades por un valor de 500 mil dólares. Más todavía, el concurso de experimentados instructores en laboreo minero austriacos colaborados y asistidos por ingenieros y técnicos bolivianos fue preponderante para lograr un marcado éxito en el trabajo de la Escuela.

Dentro de sus labores educativas la Escuela de Minería definió la realización de los siguientes cursos:

- Cursos regulares teórico prácticos para formar mineros con una duración de 10 meses.
- Cursos de complementación para mineros chicos y obreros que se encuentran trabando en la industria minera del país.
- Cursos especiales para proyectos con cambios de tecnología (contratos de servicios con la minería estatal y la minería mediana)

- Cursos de entrenamiento específico destinado a la minería chica y cooperativas (perforistas, enmaderadores, operadores de palas, etc.).

Varios de los trabajadores certificados por el Proyecto, desempeñaron cargos de importancia en laboreo minero, mantenimiento de equipo y maquinaria, construcciones civiles y control de operaciones en diversas empresas mineras.

La labor de capacitación y de servicios a la industria continuó hasta 1984 aproximadamente, año en que por causas diversas, cesó actividades.

#### **LA MANO DE OBRA EN LA ACTIVIDAD MINERA**

La industria minera en general, requiere de trabajadores y mandos competentes para lograr una óptima explotación de los yacimientos. La capacitación continua del personal reviste singular importancia, haciéndose ésta mayor cuando los yacimientos minerales empobrecen, bajan las cotizaciones de metales y minerales, se imponen cambios de tecnología o, por diversas razones, la explotación se hace crítica y es necesario lograr mayor eficiencia en la producción.

La mecanización y cambios tecnológicos son factores clave para conseguir mejoras productivas, pero es el hombre el ejecutor de ese avance, razón determinante para atender su desarrollo.

En países con industria minera avanzada existe una buena planificación para el desempeño de su fuerza laboral; se forma trabajadores y mandos nuevos y/o se capacita personal que ya se hallan realizando labores de acuerdo a los requerimientos del centro productivo o de toda esa industria. En un alto porcentaje de la industria minera boliviana esto no es así; los resultados de esta falta de preparación son bajas producciones, alta ineficiencia, cuantiosas pérdidas en los yacimientos mal explotados y daños al medio ambiente que repercuten en la salud de los trabajadores.

#### **DIAGNOSTICO DE LA FUERZA LABORAL MINERA EN BOLIVIA**

En la minería boliviana la mayor parte de la mano de obra está constituida por personal semicalificado. Factores culturales, hábitos de vida, equipamiento, falta de recursos materiales, necesidades personales y otros, motivan esta situación.

La Comibol y la Minería Mediana conformaron sus cuadros laborales con hijos de trabajadores antiguos, campesinos que viven en los alrededores de las minas y en menor proporción con gente proveniente de las ciudades del país. Salvo excepciones, las habilidades y conocimientos son y han sido transmitidos por enseñanza directa en el sitio de trabajos. El personal antiguo transmite sus experiencias a los principiantes los que

luego de períodos más o menos prolongados se convierten en obreros calificados.

En la minería chica y cooperativas mineras, la dotación de personal calificado es crítica. Las causas son motivo de análisis, interviniendo decisivamente factores de falta adecuada de viviendas que hace que se deba contratar campesinos de las comunidades vecinas que alternan su actividad agrícola con la minera de manera que su permanencia en las minas es irregular e intermitente y aunque su formación y capacitación sigue el mismo curso que en otros sectores, es generalmente desorganizada, está librada al azar, al interés de los obreros, etc., lo que redundo en un mal aprovechamiento del recurso hombre.

Otro factor que influye de manera decisiva a un mal aprovechamiento de los recursos minerales radica en la fuerte irrupción del sistema cooperativo como sector productivo minero. Las cooperativas mineras de la región occidental de Bolivia generan una producción anual bruta de aproximadamente \$us. 140 millones y emplean alrededor de 50 000 personas, lo que implica que más o menos 250 000 personas dependen de esta actividad. Sus operaciones podrían describirse como minería artesanal y de subsistencia, confrontando problemas como la falta de acceso al capital, a la capacitación y asistencia técnica. En la mayoría de los casos las cooperativas arriendan yacimientos marginales y casi agotados, no cuentan con prácticas administrativas apropiadas y sus técnicas primitivas de explotación no solo ponen en riesgo su salud, sino algunas veces las vidas de sus trabajadores. El origen y expansión de las cooperativas mineras están estrechamente vinculados a las crisis económicas cíclicas que han afectado la industria minera de Bolivia desde la época colonial. Su crecimiento ha sido compulsivo después de cada crisis.

La última crisis de la minería de 1985 dio como resultado un crecimiento explosivo de las cooperativas mineras. El número de sus afiliados aumento entre 1985 y 1990 de 17.0000 a 50.000 cuando la Comibol arrendó algunas de sus minas paralizadas a las cooperativas. Esta resultó ser una solución oportuna pero de corto plazo al problema de desempleo que probablemente evitó una explosión social. Las cooperativas lograron adaptarse a la crisis de la industria minera por medio de la explotación de áreas remanentes de alta ley de las minas de Comibol, utilizando métodos intensivos en mano de obra y desde luego sin el beneficio de los trabajos de exploración y desarrollo.

Lo precario del sistema cooperativo y las operaciones de la minería chica ocasionaron una degradación ambiental por unidad producida, en la que, por una parte el medio ambiente como proveedor de recursos resulta siendo subutilizado y, de otro lado la generación de desechos producidos y descargados en el entorno, principalmente en ríos, por unidad producida también aumentó, en ocasiones con tasas del orden de hasta 700%.

## **ESTRUCTURA EMPRESARIAL MINERA**

Un análisis de la organización y estructura de los puestos de trabajo de las empresas mineras bolivianas en sus niveles de producción define, en forma general la siguiente estructura ocupacional<sup>16</sup>:

- Administradores, superintendentes, encargados.
- Supervisores técnicos.
- Supervisores de personal.
- Trabajadores calificados.
- Trabajadores no calificados.

Los dos primeros grupos corresponden al personal superior. En el tercero están los mandos medios (laboreros, jefes de punta, mayordomos); el cuarto incluye los niveles operacionales y finalmente el último agrupa a los obreros auxiliares (ayudantes, peones, etc). Entre los trabajadores calificados los puestos de mayor incidencia en la producción son, en orden de importancia, los perforistas, operadores de equipos de carguío, transporte y extracción, los encargados de concentración y beneficio de minerales y en algunas minas juegan un rol muy importante los enmaderadores (matapalos).

La experiencia de gestiones pasadas ha definido que el nivel de supervisores de personal es el que prioritariamente requiere de capacitación, porque al constituirse en puente entre los supervisores técnicos y el personal de ejecución necesitan de conocimientos complementarios; ellos son generalmente gente que se ha formado en el trabajo y que por su capacidad y experiencia han sido promovidos a cargos de mando, necesitando de mayores conocimientos teórico práctico. La ausencia de supervisores de personal capacitado ha provocado que los ingenieros realicen trabajos de menor importancia desmotivando su formación académica profesional.

Otros sectores de obreros que necesitan de entrenamiento son los operadores de equipos en la explotación y beneficio, los de mantenimiento, inspectores de seguridad y otros que trabajan en departamentos de apoyo a la producción.

La capacitación minera planificada es una tarea imperativa de los sectores productivos mineros pequeño y cooperativo; estos sectores requieren de una labor oficial de gran magnitud y el respaldo masivo de la

---

<sup>16</sup> Noya Arias, Rodolfo, Conceptos Preliminares sobre el Sistema Nacional de Formación y Capacitación Minera: 1979; Perfil Minero Metalúrgico, Instituto de Investigaciones Minero Metalúrgicas, Oruro, Bolivia.

parte empresarial. El mejorar los recursos humanos en tareas productivas será de beneficio para las empresas, trabajadores y el país.

### **EL ROL DE LA ESCUELA DE MINERÍA EN LA CAPACITACION DE MANO DE OBRA**

Los antecedentes descritos y el diagnóstico realizado sobre el desenvolvimiento de operaciones mineras pequeñas bajo el sistema cooperativo, principalmente, aunados a los bajos rendimientos observados por los mismos trabajadores mineros indujeron al Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas, SERGEOTECMIN<sup>17</sup>, a considerar la reactivación de su Escuela de Minería. En la gestión del 2005 se reinició el funcionamiento de su Escuela de Minería con el objetivo de "capacitar personal en trabajos de explotación minera, concentración de minerales, higiene y seguridad industrial, manejo ambiental en operaciones mineras y mantenimiento de maquinaria de mina y plantas de concentración a nivel de operaciones y de mandos medios".

Los alcances de trabajo en esta fase inicial de reapertura de operaciones de la Escuela fueron fijados como:

- (a) Preparar personal en laboreo minero en temas de arranque, transporte, extracción, sostenimiento, ventilación, seguridad industrial, manipuleo de materiales y mantenimiento de maquinaria y equipo de mina;
- (b) Preparar personal en concentración de minerales en temas de trituración primaria, trituración secundaria, clasificación, concentración gravimétrica, flotación de minerales, higiene y seguridad industrial, manipuleo de materiales, operación de diques de colas y mantenimiento de maquinaria y equipo de plantas de concentración;
- (c) Capacitar personal en temas de manejo medio ambientales con aplicación en temas mineros;
- (d) Capacitar personal en dirección de operaciones mineras con fuerte aplicación en temas de planificación y control de labores mineras;
- (e) Efectuar convenios con la industria minera para la realización de prácticas de campo en diferentes minas, plantas de concentración y otras facilidades mineras;
- (f) Efectuar convenios con la industria minera para destacar personal de sus cuadros laborales que asistan a cursos de la Escuela con objeto de recibir capacitación.

---

<sup>17</sup> En 1996 el Estado boliviano fusionó al Instituto de Investigaciones Minero Metalúrgicas con el Servicio Geológico Boliviano formando el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERGEOMIN, entidad que el año 2004 fue objeto de otra fusión, esta vez con el Servicio Técnico de Minas, SETMIN, instituyendo el SERGEOTECMIN actual.

Como estrategia de trabajo para la fase de reiniciación de labores se decidió efectuar los cursos de capacitación en los sitios de producción minera dirigiendo como objetivo meta a las cooperativas mineras. Este objetivo fue establecido después de haber efectuado un exhaustivo análisis de necesidades del sector productivo.

Como forma de apoyo a la ejecución de los cursos se elaboró manuales de instrucción que sirven de cartillas en los cursos de capacitación. Son trece los documentos que se disponen en el momento que describen de manera simple y de fácil comprensión las operaciones unitarias en laboreo minero, concentración de minerales e higiene y seguridad industrial.

En el invierno del 2005, 139 trabajadores de las cooperativas mineras de Chocaya-Animas y Chocaya-Siete Suyos fueron objeto de intenso entrenamiento y preparación en cursos teórico prácticos efectuados en las minas de su dependencia. Como primera experiencia de la reactivación de la Escuela, este intento ha sido considerado exitoso. De manera global se ha conseguido introducir mejoras en la organización de las cooperativas y conocimientos básicos en el personal que asistió a los cursos.

Posteriormente el personal de la Escuela realizó cursos de entrenamiento específicos en higiene y seguridad industrial, prácticas de muestreo geológico minero, desagüe de minas y tojeo en el distrito minero de Japo, a personal de la Cooperativa El Porvenir Japo por contrato de servicios con la Empresa Minera AITCOBOL SRL. Esta misma empresa volvió a contratar los servicios de la Escuela para un trabajo de capacitación a la Cooperativa Fundición El Kenko del centro minero Catavi.

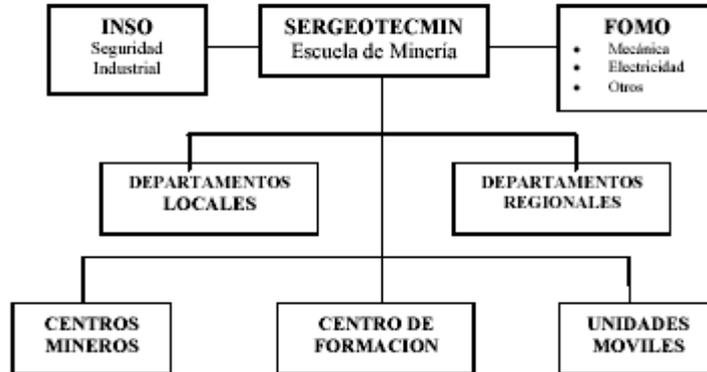
En la presente gestión se realizará campañas de capacitación en los distritos mineros de Chorolque, Tasna, Pampa Grande y Tatasi en el sur del país; en el departamento de Oruro, el curso se efectuará en minas del Cañadón Antequera con personal de minas pequeñas y cooperativas de la región; los distritos mineros de Caracoles, Viloco, Bolsa Negra y Matilde serán objeto de los cursos en el departamento de La Paz.

#### **PROYECCIONES DE LA ESCUELA DE MINERIA**

Hasta el presente la Escuela de Minería orientó sus actividades a objetivos secundarios. Este aspecto se debió a coyunturas del momento que fueron de la mano con lo cíclico en que se desenvuelve la industria minera del país. La parálisis de funcionamiento de la Escuela a partir de 1985 muestra lo débil de su estructura. La experiencia de esa primera etapa de trabajo enseña que debe diseñarse una organización sostenible en el tiempo fijando metas más ambiciosas que involucren a otros organismos relacionados con el quehacer minero y su capacitación.

Con la existencia de organismos dedicados la formación de mano de obra calificada como el Servicio Nacional de Formación de Mano de Obra, FOMO y el Instituto Nacional de Salud Ocupacional, INSO, se tiene la perspectiva de realizar una labor coordinada en temas de capacitación en minería y metalurgia además de ramas auxiliares asociadas con estas actividades. La Escuela de Minería y organizaciones similares al FOMO y al INSO constituyen una base formidable para establecer ordenadamente la capacitación de recursos humanos en la industria minera del país (Figura 1).

**ESQUEMA PRELIMINAR DEL SISTEMA DE FORMACION Y  
CAPACITACION MINERA**



**Figura 1 - Esquema preliminar del sistema de formación y capacitación minera**

En realidad lo que se propone como política de estado es la estructuración de un sistema de formación y capacitación minera en el que la Escuela de Minería dependiente del SERGEOTECMIN constituiría el núcleo generador y administrador de políticas; se debería crear departamentos locales de capacitación y formación en empresas y cooperativas mayores a cierto tamaño y unidades móviles para entrenamiento dependientes de la escuela, similares a la que actualmente se encuentra en trabajo.

La descentralización de las funciones exclusivas de capacitación de la Escuela es necesaria por varias razones. No se puede esperar que en forma individual prepare recursos humanos calificados para toda la minería nacional, menos que satisfaga los numerosos requerimientos de entrenamiento de personal para problemas específicos de la minería tradicional. Para hacer frente a esa tarea se debería implantar un sistema

nacional promotor del desarrollo de recursos humanos dedicados a la minería. Por sistemas se comprende "el conjunto de órganos, principios y normas enlazados y coordinados entre sí tan estrechamente que constituyen un todo indivisible, a pesar de la relativa independencia funcional u operativa que puedan tener sus partes componentes". La Escuela de Minería sería inicialmente el órgano central normativo y los departamentos locales y regionales los órganos periféricos que estén funcionando unidos al núcleo aunque no dependan jerárquicamente de él.

El logro de la propuesta está sujeta a profundos estudios técnicos, administrativos, financieros, operacionales y de participación activa de empresas mineras, cooperativas, organismos nacionales e internacionales.

Se debe admitir que el proceso de implementación del sistema tomará cierto tiempo. No se debe esperar resultados rápidos a corto plazo. Un primer acercamiento para el establecimiento de este sistema comprende los siguientes aspectos:

- Definición de los contenidos básicos de la futura actividad formativa.
- Planificación para la organización de los departamentos locales.
- Establecimiento de bases para crear los centros regionales.
- Planificación detallada de los correspondientes cursos teórico prácticos.
- Elaboración de manuales y materiales didácticos.
- Formulación de políticas y planificación a largo plazo.

Un aspecto clave para arribar a la meta deseada es el apoyo incondicional del Ministerio de Minería y Metalurgia que promueva la implementación del sistema como política de estado.

La participación empresarial y de las cooperativas en la orientación de políticas de formación y capacitación es de importancia debido a que las empresas deben tener la oportunidad de contribuir a definir las políticas de educación en minería. La fijación de metas, la definición de responsabilidades técnicas y administrativas en la elaboración de planes y programas debe ser el resultado de una comprensión mutua entre gobierno y sectores productivos.

Si se desea lograr avances significativos en la industria minera y sus operaciones, a la par de cambios tecnológicos habrá que dar mucha importancia a la capacitación del hombre, pieza fundamental en el engranaje productivo. Si no se orienta en buena forma los esfuerzos sobre el tema de capacitación, los rendimientos en productividad continuarán en niveles bajos con influencias negativas en aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos. Se debe hacer del trabajador minero uno de los factores de éxito de las empresas que esté capacitado para producir más y en consecuencia para progresar.

Finalmente queda por definir el aspecto legal de la implantación del sistema de capacitación propuesto. Entretanto en el corto plazo la Escuela de Minería continuará trabajando bajo el esquema con el que ha reabierto sus operaciones en beneficio de los sectores productivos pequeño y cooperativo.

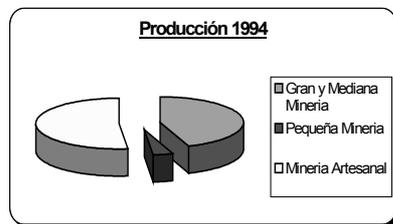
**TECNOLOGÍAS LIMPIAS  
USO ADECUADO DEL MERCURIO: "RETORTA COMUNAL"**

Guillermo Medina Cruz  
Proyecto Gestión Ambiental  
en Minería Artesanal  
Peru

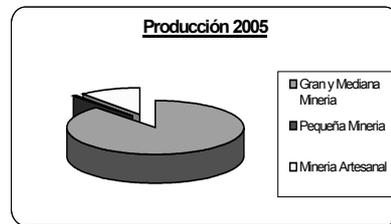
**1. INTRODUCCIÓN**

**a) Importancia de la Minería Artesanal y la Pequeña Minería en el Perú**

La minería artesanal y/o la pequeña minería, circunscritas actualmente, casi exclusivamente a la minería aurífera; constituyen actividades relevantes en países como el Perú, donde las oportunidades de empleo son muy limitadas. Su importancia económica y social se evidencia en los siguientes gráficos de distribución de la producción de oro, y en la población ocupada en forma directa en esta actividad, que actualmente es del orden de 50,000 trabajadores, conformada en gran parte por quienes perdieron sus puestos de trabajo o han emigrado de áreas de extrema pobreza.



Gran y Mediana Minería	21,300
Pequeña Minería	1,800
Minería Artesanal	24,700



Gran y Mediana Minería	190,242
Pequeña Minería	1,349
Minería Artesanal	24,000

Si bien es cierto, que la participación en la producción aurífera peruana, de mineros artesanales y lavadores auríferos, ha experimentado una disminución relativa del 43 % con respecto al nivel más alto alcanzado en 1994, esto se explica por el incremento sostenido y espectacular alcanzado por los estratos de la mediana y gran minería aurífera en los últimos 15 años.

También es cierto que, si referenciamos solamente, la producción del sector de "mineros artesanales y lavadores auríferos" peruanos en el año 2005 (24,000 Kg.= 771,619 onzas), se alcanzaría un expectante

puesto 16 en el ranking mundial de productores de oro., superados en Latinoamérica solamente por Brasil , Argentina, Chile y Colombia.

Como puede apreciarse, la importancia económica y obviamente social; de la actividad del sector de "mineros artesanales y lavadores auríferos", es indiscutible, sin embargo, utilizan intensivamente mercurio en su proceso productivo con las peligrosas consecuencias ambientales y a la salud que ello conlleva.

#### **b) Utilización de Mercurio en la Minería aurífera Artesanal Peruana**

La utilización de **mercurio**, en el proceso de **amalgamación**; por la sencillez de su técnica, su relativa eficacia y poca inversión; es el método más difundido, preferido y aplicado por los mineros artesanales y lavadores auríferos peruanos que realizan operaciones ya sea en yacimientos primarios (vetas) o secundarios "placeres" en distintas circunscripciones con filiación aurífera, del territorio peruano.

La incorrecta utilización del mercurio, se da tanto en la fase de **preparación de la amalgama**, como en la del **quemado ó "refogado"** de la misma.

### **2. PROGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE "RETORTAS Y REACTIVADORES DE MERCURIO"**

Para disminuir los efectos nocivos del mal uso del mercurio, después de estudios de diagnóstico (1994) y de tomar conocimiento de proyectos tales como: PMSC (Ecuador) y MEDMIN (Bolivia). El Ministerio de Energía y Minas del Perú, adoptó la decisión de implementar un programa sostenido de distribución gratuita de retortas y reactivadores de mercurio en las distintas zonas que constituían el área de influencia del Proyecto "Minería Artesanal y Pequeña Minería" - MAPEM, tal como se aprecia en el siguiente cuadro resumen:

#### **REPORTE DE DISTRIBUCION DE RETORTAS DEL PROYECTO MAPEM A DICIEMBRE DEL 2000.**

<b>ZONA</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>TOTAL DISTRIBUIDO</b>
Madre de Dios	72	650	50	50	54	876
Ica - Ayacucho - Arequipa	15	131	136	45	40	367
Puno	--	105	75	12	--	192
La Libertad	--	--	10	--	--	10
Otros	13	63	60	2	7	145
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>949</b>	<b>331</b>	<b>109</b>	<b>91</b>	<b>1590</b>

I) 100 Módulos (retorta más reactivador) se financiaron con recursos del Proyecto EMTAL y otros 500 módulos con aporte del Fondo de

Iniciativas Locales de Canadá. El resto se financió con recursos propios del Ministerio de Energía y Minas – Perú.

II) A lo distribuido por el Ministerio de Energía y Minas, hay que agregar unos 300 equipos, mayormente de procedencia Brasileña; que han sido adquiridos por los propios usuarios de la zona de Madre de Dios.

El Programa consistió en lo siguiente:

- a) Adaptar modelos de retorta de distinto tamaño, de manufactura local, fácil manejo y bajo costo a las distintas necesidades de los usuarios, previa superación de la fase experimental, para otorgarles credibilidad por las evidentes ventajas ambientales y económicas que su utilización representa
- b) Difundir las reglas de seguridad para la utilización del mercurio, así como las instrucciones para operar correctamente las retortas.
- c) Difundir los principales síntomas de envenenamiento por el uso
- d) inadecuado del mercurio, enfatizando que este se genera de manera gradual e irreversible
- e) Distribuir complementariamente, en cada unidad operativa inspeccionada por brigadas técnicas del Proyecto MAPEM. el llamado "reactivador" de Mercurio Antes del inicio del proyecto, el mercurio utilizado en sucesivas operaciones y que perdía su capacidad reactiva (mercurio "cansado") era lavado precariamente con algún detergente o jugo de limón y finalmente desechado, originando una evidente contaminación.

La implementación del Reactivador de mercurio auspiciado por el Ministerio de Energía y Minas, por la simplicidad de uso y buenos resultados, ha merecido una aceptación total, incluso de los que aún no utilizan retortas.



**REACTIVADOR**



**RETORTA**

### 3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la ejecución del programa de distribución de retortas y reactivadores de mercurio, efectuados por el MEM-Perú fueron disímiles, satisfactorios en la zona de Madre de Dios y mediocres en las zona de Ica - Ayacucho - Arequipa y Puno, respectivamente, lo cual sugirió modificaciones de estrategias en estos últimos casos.

	Madre de Dios		Ica-Arequipa-Ayacucho		Puno	
	Conocen Retorta %	Utilizan Retorta %	Conocen Retorta %	Utilizan Retorta %	Conocen Retorta %	Utilizan Retorta %
Encuesta 1995	7.9	1.9	10	2	10	2
Diciembre 2000	90	60	80	12	75	10

Efectuando una comparación de la recuperación de mercurio, refiriéndola a la producción del año 2000, asumiendo lo que hubiera ocurrido si no se hubiera ejecutado el proyecto de distribución de retortas y contrastándolo con los resultados del programa, se evidencia un incremento de recuperación del mercurio del orden del 43.5% (47.5% - 4%) como puede apreciarse en el siguiente cuadro resumen:

Zonas	Producción Oro Kg.	Utilización Hg en amalgama Kg.	Sin Proyecto Año 1995		Con Proyecto Año 2000	
			% Rec. Hg	Hg recup Kg	% Rec. Hg	Hg Recup Kg
Norte	546	1,092	2	22		44
Ica - Ayacucho - Arequipa	2,208	4,416	2	88	2	530
Madre de Dios	10,606	21,212	1,9	403	0	12,727
Puno	3,140	6,280	2	126	0	628
Artesanales y Lavaderos	16,500	<b>33,000</b>		<b>639</b>		<b>13,929</b>

La explicación de estas sustanciales diferencias, en cuanto a los logros obtenidos, se debería entre otras causas, a las siguientes:

- Magnitud de operaciones.** Las operaciones más pequeñas y dispersas como es el caso de las ubicadas en la zona de Ica - Ayacucho - Arequipa y Puno, son más proclives a no utilizar las retortas, asumiendo el criterio equivocado de que la quema de "poca

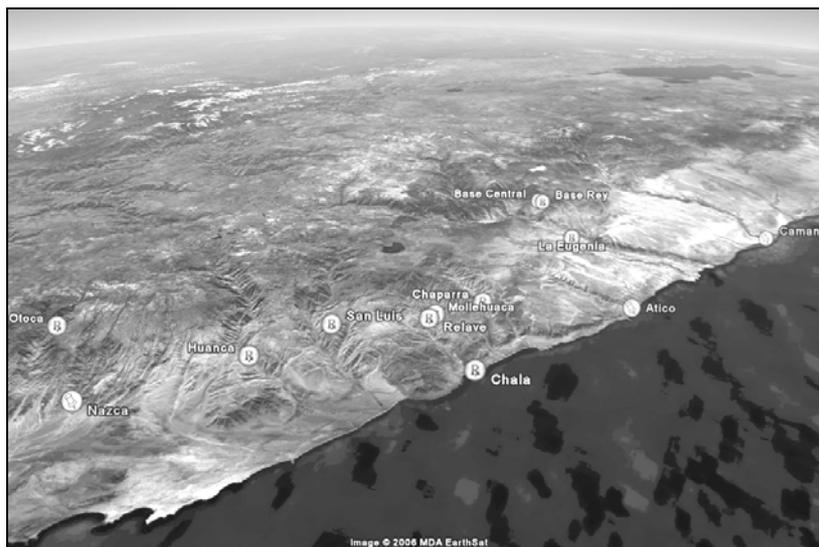
amalgama" ocasiona "poco daño", sin considerar sus efectos acumulativos.

- b) Otra limitación, lo constituiría el **costo de la energía** utilizada para quemar la amalgama y el **tiempo empleado** en esta diligencia por lo que prefieren una quema abierta a despecho de sus implicancias ambientales y daños a su propia salud
- c) **La modalidad de comercialización** del oro refogado, que en los casos de Ica, Ayacucho, Arequipa y Puno, procede de yacimientos de veta y por lo tanto contiene algunas impurezas, como cobre, óxidos de fierro entre otros y que al quemarse la amalgama, en circuito cerrado, resulta con patinas verduscas o marrones, lo que aparentemente disminuye la calidad del oro refogado dado que este se tasa por el color y cuanto mas amarillo mejor .
- d) En el caso de Madre de Dios, por tratarse de yacimientos aluviales o secundarios el oro se presenta mas libre y puro por todo el proceso que conlleva la atrición, transporte y deposición del mismo y por lo tanto no se presentan las indeseable patinas verduscas o marrones al reforgarse la amalgama. Salvo en operaciones muy pequeñas, es frecuente observar la utilización de gas propano, retortas de mayor dimensión y poca premura para efectuar diariamente el refogado por la relativa mayor "solvencia" económica de los operadores

#### **4. IMPLEMENTACIÓN DE RETORTAS COMUNALES**

Lo expuesto y para los casos de las zonas de Ica - Ayacucho - Arequipa y Puno, demando la implementación de otras estrategias o modalidades de intervención, decidiéndose por la implementación de las denominadas "retortas comunales" ó "centros de refogado", que en verdad no representan innovación tecnológica representativa, sino más bien; equipos y modelos prácticos y de resultados tangibles. En este nuevo proceso ha y esta interviniendo decididamente el Proyecto GAMA-Gestión Ambiental en la Minería Artesanal -conjuntamente con sus contrapartes regionales, particularmente el Gobierno Regional de Arequipa.

A la fecha se han instalado 10 retortas comunales en asentamientos y localidades minero artesanales que se señalan en el siguiente mapa y cuyas características se describen mas adelante. Existen y se esperan propuestas de algunas Retortas comunales estacionarias mas, en el denominado Sur Medio -Ica, Arequipa y Ayacucho .En cuanto a Puno, por las particulares condiciones geográficas y climáticas, altitud de mas de 5000 msnm y bajísimas temperaturas, donde se asientan los principales centros mineros artesanales se esta trabajando a nivel piloto otros modelos de retorta comunal, cuyos resultados todavía no alcanzan los estándares requeridos.



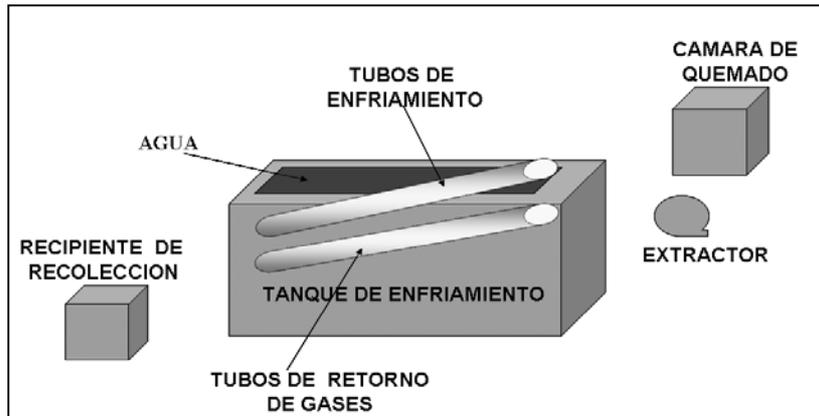
**Localidades minero artesanales donde se han instalado "Retortas comunales"**

- Huanta en Ayacucho
- Relave en Ayacucho
- San Luis en Ayacucho
- Otopa en Ayacucho
- Cerro Rico-Central en Arequipa
- Cerro Rico.Rey en Arequipa
- Eugenia en Arequipa
- Mollehuaca en Arequipa
- Chaparra en Arequipa
- Chala en Arequipa

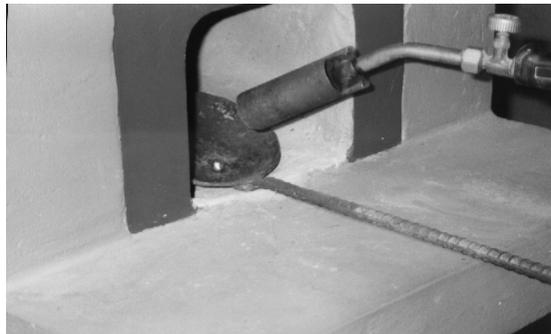
**a) Descripción de la retorta comunal y partes de la Retorta Comunal**

La Retorta comunal es una instalación para el quemado de la amalgama Oro-Mercurio y la consiguiente separación y recuperación de ambos metales aprovechando sus distintos puntos de ebullición y que se diferencia de las retortas convencionales , además de sus dimensiones ,

por el hecho de que son de circuito abierto y por la incorporación de un motor-extractor que impulsa la corriente los vapores de mercurio desde la cámara de quemado, pasando por el tanque de enfriamiento hasta la tasa de recolección y el posterior retorno de los gases limpios.



**a.1) La cámara de quemado** de la amalgama, es un pequeño horno de ladrillo tarrajeado y terminado con cemento pulido, donde se coloca la amalgama en un crisol y se le aplica fuego directo

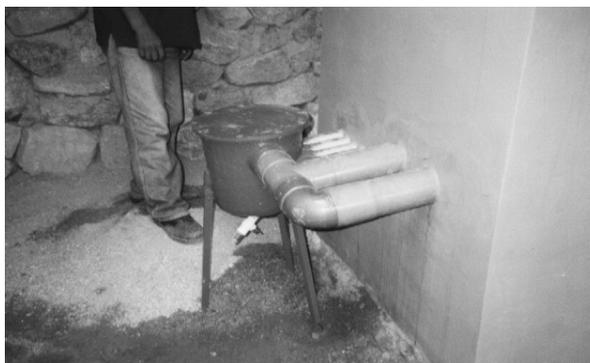


**a.2) Tanque de enfriamiento**, reservorio de agua, construido de ladrillo, tartajeado y enlucido con cemento. En el tartajeado de las paredes internas se hace uso de un aditivo impermeabilizante denominado "Sika" de fraguado normal. Las dimensiones exteriores son: largo 4m, ancho 1.10m, altura 1.25m, y tiene una capacidad de 3.0 m<sup>3</sup>, que es llenado con agua. El tanque posee una válvula de desfogue al nivel del piso

**a.3) Los tubos de enfriamiento**, son de acero inoxidable de 1 5/8 pulgadas de diámetro por 1.24 mm de espesor por 5 m de longitud, que salen de la cámara de quemado e ingresan al tanque de enfriamiento. La función es condensar los gases calientes de mercurio y descargarlos por gravedad en la tasa de recolección. Estos tubos están sumergidos en el tanque de enfriamiento de una longitud de 4 m.



**a.4) La tasa de recolección**, de Fibra de vidrio, enlucido internamente con anticorrosivos, que recibe el mercurio líquido producto de la condensación y que periódicamente se descarga.



**a.5) Tuberías de retorno y desfogue**, dos tubos de PVC en paralelo de 4" pulgadas de diámetro que comunican la tasa de recolección con el extractor cerrando el circuito de aire.

**a.6) Motor / extractor**, es un ventilador tipo turbina centrífuga de 2800 RPM con sistema de transmisión por faja, Motor estacionario gasolinero marca Honda de 4 HP, de 1,800 a 3,600 RPM, de

arranque manual mediante una cuerda que acciona el sistema de transmisión por faja.



## **5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

Como ya se indico anteriormente, se ha instalado en el denominado "Sur Medio" 10 retortas comunales, cuya operación permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Tienen una mayor aceptación entre los mineros artesanales por cuanto son instalaciones que permiten el quemado de la amalgama en circuito abierto ya sea por el propio productor o un operador supervisado por este
- El quemado en circuito abierto, pero con extractor que no permite la difusión de los vapores de mercurio al ambiente, posibilita por un lado, la visualización directa de la operación por parte del productor lo cual le otorga confianza y por otro lado ya no se producen las patinas verduscas o marrones que de alguna manera afectan sus posibilidades de comercialización; por cuanto la venta del oro "refogado" se hace por el color que es indicativo práctico de la ley o tenor del oro.
- La descarga periódica del mercurio de la tasa de recolección, permite una comprobación tangible de la recuperación del mercurio, que en otras circunstancias, en estado de vapor, hubiera contaminado el ambiente y afectado directamente al operador, con las peligrosas consecuencias que eso conlleva.
- A lo señalado anteriormente se puede añadir ventajas de tipo económico, por cuanto el mercurio recuperado a la fecha, en las 10 retortas comunales ya instaladas; alcanza a unos 900 Kg/año. (pesados y reutilizados) lo que en condiciones actuales representa unos US\$ 45,300 frente a los aproximadamente US\$ 62,700 es decir un retorno de la inversión en solo 1,3 años

- De otro lado, los locales de las "retortas comunales" constituyen un punto de encuentro de los mineros artesanales, de identificación y empoderamiento con "su retorta" y los beneficios tangibles ambientales y económicos que ella les brinda

**PROCESAMIENTO DE MINERAL Y EL USO DE MERCURIO EN UNTUCA  
- GAMA - MEDMIN**

*Félix Carrillo Claros*  
Peru

---

**RESUMEN**

Durante los últimos diez años, MEDMIN ha estado vinculado a un gran número de estudios y proyectos relacionados con el beneficio de menas auríferas y la recuperación de oro.

En este documento se pretende resumir la experiencia y conocimientos acumulados, en un trabajo conjunto con el Proyecto GAMA, para plantear alternativas de tratamiento para mejorar la recuperación de oro a partir de los minerales explotados en la Zona de Untuca, región cordillerana del Perú, que al igual que muchas otras operaciones de pequeña escala muestra varios problemas, tales como:

- Extracción incompleta (parcial) de los recursos minerales
- Baja recuperación del oro
- Alto impacto ambiental
- Condiciones de trabajo precarios (con poca seguridad)

La eficiencia y recuperación metalúrgicas varían naturalmente con la tecnología aplicada y la experiencia de los operadores. Generalmente, hay pérdidas altas de oro fino liberado y de oro no liberado por molienda gruesa.

La experimentación se llevó a cabo "in situ" y en laboratorio en algunos casos; se trabajó con los mineros fundamentalmente en los procesos de tostación, molienda y amalgamación y manejo del mercurio.

Concientes de la necesidad de incorporar algunos dispositivos poco usuales en la región de Untuca, se llevaron a la zona una serie de equipos cuya eficiencia técnica está plenamente comprobada.

Sin duda, la clave para realizar cambios es la economía. Es posible combinar menor contaminación con mayor ingreso para los mineros vía capacitación, mejor organización de toda la comunidad e inversiones a pequeña escala.

El Proyecto "ASISTENCIA TECNICA PARA EL PROCESAMIENTO DE MINERAL Y EL USO DE MERCURIO EN UNTUCA" fue patrocinado y financiado por Projekt-Consult GmbH y ejecutado por el Proyecto GAMA de Perú y la Fundación MEDMIN de Bolivia.

## **ANTECEDENTES**

En la región de Puno, República del Perú, existen localidades de carácter eminentemente minero-artesanal, tal es el caso de la comunidad campesina de Untuca, distrito de Quiaca, Provincia de Sandia con una población aproximada de 500 personas que se dedican a la actividad minera.

La forma de trabajo es individual y en pequeños grupos de 3 o 4 mineros, quienes desarrollan su actividad con herramientas básicas. El tipo de mineralización es en mantos y extraen cantidades muy pequeñas de mineral pero con ley alta, los escombros que quedan son también de una ley significativa (20 grs/TM).

En la Concesión San Miguel de Untuca trabajan muy pocos mineros que desarrollan labores con una profundidad de hasta 20 metros. A pesar de ser una formación geológica parecida a la de Ananea, se requiere de un estudio geológico que permita tener una idea más clara de la potencialidad del yacimiento.

Los documentos de la DREM-PUNO, manifiestan que la Comunidad Campesina de Untuca, es Titular de la Concesión Minera San Miguel de Untuca, constituyendo una de las pocas Comunidades mineras que tienen un "aceptable" grado de Organización, el mismo que se traduce en el cumplimiento de la prestación de sus obligaciones mineras, como presentación de la DACs, Reporte de Estadísticas de Incidentes y Accidentes, Producción, Avance Lineal entre otros. Sin embargo desconocen aspectos relacionados a mejorar su organización, analizando las formas de administración de empresas aplicables al sistema organizativo de la Comunidad Campesina y Comunidad Minera. El sistema de producción es individual porque cada minero extrae una determinada cantidad de carga, la procesa hasta recuperar el oro siguiendo el método tradicional bastante arraigado en la zona.

El principal problema técnico que confrontan los mineros, se presenta en el procesamiento del mineral, la necesidad de quemar (tostar) el concentrado y procesarlo (molienda-amalgamación) en los quimbaletes. Este proceso implica invertir bastante tiempo, entre el recojo y secado previo de la "champa" (pasto y hierba silvestre) y luego quemar el mineral durante 12 horas, el tiempo que utilizan en el quimbalete para moler y amalgamar una determinada cantidad de carga también es considerable.

Tanto el tostado del mineral, como la amalgamación en el quimbalete y la quema de la amalgama se realiza en forma individual. En la zona existen aproximadamente 100 quimbaletes, concentrados en la zona de Llactapata.

## TRABAJO DE CAMPO



Población minera de Untuca

Población minera de Llactapata



La visita de campo, permitió verificar en el terreno todo el proceso que siguen los mineros para obtener como producto final el oro. Todo se inicia con la fase de explotación del mineral, se extraen cantidades relativamente pequeñas de mineral cuya característica principal es su alta ley, el mineral está constituido mayormente por pizarras, cuarzo en menor cantidad y muy pocos sulfuros. El oro está presente en forma de partículas muy finas (granos de tamaño menor a 0.150 mm, 100 # Ty), asociadas principalmente con cuarzo. Para su liberación es necesaria una molienda intensa, la que se logra en los quimbaletes pero en un tiempo bastante largo.

Posteriormente el mineral es sometido a tostación, previamente se pone una capa de piezas de champa seca, luego se esparce encima una determinada cantidad de mineral, se cubre con otra capa de champa, se esparce otra cantidad de mineral, nuevamente champa y así sucesivamente hasta tener todo el mineral (3 - 5 kgs.) cubierto del combustible vegetal. Luego se enciende la champa en la parte inferior, el tiempo de quemado es de 10 a 12 horas y se logra alcanzar temperaturas hasta 850-900 °C. El proceso de tostado es sumamente lento, se aprovechan los fuertes vientos de la zona para que el combustible vaya quemándose gradualmente, se genera bastante humo que contamina el aire. No se utiliza ningún tipo de horno, el quemado se realiza sobre de plataformas de piedra.

La champa es un arbusto de la familia de la *Azorella Compacta*, una de sus características principales es que posee buena calda o sea que arde bien y los mineros prefieren este combustible vegetal antes que a los residuos animales (excrementos). La carga tostada es sometida luego a la molienda y amalgamación en los quimbaletes.



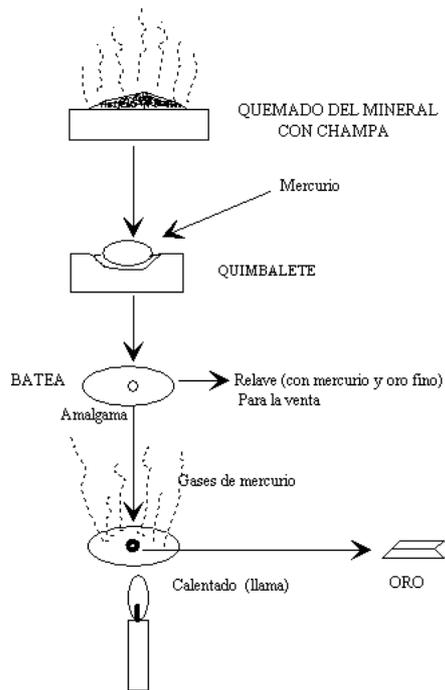
Proceso de quemado del super concentrado con "champa".

El proceso de quemado dura varias horas



La forma usual de tratamiento del mineral aurífero, desarrollado por los mineros en la región se muestra en el diagrama de flujo anterior, la amalgamación se realiza en los quimbaletes paralelamente a la molienda, este tipo de operación es discontinua. La molienda del mineral debe ser lo suficientemente fina para liberar el oro desde su ganga. Si parte de la ganga permanece unida a las partículas de oro, el proceso de amalgamación tiene una eficiencia baja. Cuando el oro se halla acompañado de minerales de arsenopirita, antimonita y otros, el mercurio se atomiza durante la amalgamación y toma la consistencia de harina, la amalgamación no se verifica y el mercurio es recuperado en menos del setenta por ciento.

### PROCESO TRADICIONAL



### PROBLEMAS AMBIENTALES

El problema del uso de mercurio en Untuca es evidente, pero se tienen una serie de soluciones que se presentaron a los mineros en el trabajo de campo, en especial el manejo de la retorta para recircular el mercurio, toda la información de trabajos anteriores desarrollados por GAMA y MEDMIN en otras regiones fue valiosa.

Pero, paralelamente al problema técnico de la mejora en la recuperación del oro, se detectaron otros dos problemas no menos importantes: la deforestación de grandes áreas como efecto del uso intensivo del combustible vegetal o "champa", especie típica de la zona. Los mismos mineros indicaban que debían recorrer distancias cada vez más largas para proveerse de este insumo y la intensa humareda que se produce durante el tostado o quemado del mineral contaminando el aire, el problema es mucho más grave cuando son varios los puntos en los cuales se queman en forma simultánea.



La deforestación de grandes áreas para proveer a los mineros de combustible es un problema bastante serio

Quemados simultáneos generan una considerable contaminación del aire



#### **PRUEBAS DE CAMPO**

En base a la experiencia boliviana, el tratamiento que se pretendía aplicar con el mineral de Untuca, era tostar el mineral con quemadores a gas o gasolina, para acelerar el proceso de quemado, moler y amalgamar en tambores cerrados, separar la amalgama de los relaves con hidroseparadores y recuperar el mercurio en retortas.

La tostación, tal como se tenía previsto realizar, es relativamente rápida y sencilla; sin embargo todo dependía de las características del mineral, en ese sentido las pruebas "in situ" para ver como responde la carga a este proceso de tostación fueron muy importantes.

Sin embargo, luego de una caracterización del mineral presente en Untuca, y después de las pruebas preliminares, se pudo evidenciar que el

material de la zona era completamente diferente a los minerales bolivianos tratados por medio de este proceso. Los minerales bolivianos tienen un alto contenido de sulfuros, este aspecto facilitaba el proceso de tostación oxidante; en cambio, el mineral de Untuca posee un alto contenido de pizarras y un muy bajo contenido de sulfuros. Desde ese punto de vista la tostación no se justificaba.

Hechas las averiguaciones entre los mineros, estos manifestaron que el proceso de quemado era el que comúnmente se seguía desde hacía muchos años, no sabían o no recordaban quién ni cuando había implementado esta forma de tratamiento de sus minerales. Pero, aclararon también que cuando procedían a moler y amalgamar directamente el mineral sin un paso previo de tostado, el oro no se podía amalgamar.

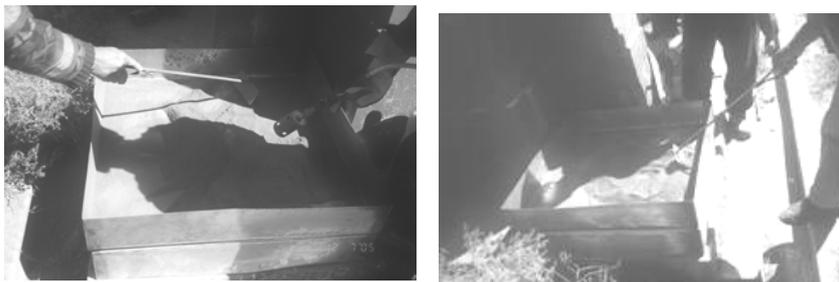
El siguiente paso del equipo técnico fue validar este hecho, se recibieron varias cargas entregadas por los mismos mineros para realizar las pruebas experimentales correspondientes. Pero, los primeros ensayos con estas muestras permitieron ver que no correspondían a las cargas ricas que normalmente ellos tratan, este hecho es comprensible por la natural desconfianza que tienen los mineros. Al parecer eran cargas de zonas que se estaban evaluando para su posterior explotación. Las cargas traídas por cada minero eran completamente diferentes entre sí, tanto en su composición mineralógica como en el tamaño de grano, esto dependiendo del área de trabajo del cual provenía la carga.

En las pruebas preliminares de verificación de la presencia de oro libre en cada carga, fue difícil detectar la presencia de este metal, se procedió entonces a moler muestras para ser amalgamadas, la recuperación de oro fue mínima, se pudo ver también aunque en muy poca cantidad sulfuros (arsenopirita, antimonita), los compuestos de hierro magnéticos también están presentes, pero fueron separados fácilmente con ayuda de imanes.

Es común encontrar oro recubierto de capas o mineralizaciones de sulfuros, cuarzo u otros que se desean eliminar para obtener el producto que realmente interesa. Aprovechando la solubilidad de los sulfuros en Ácido Nítrico, se procedió a atacar estos, sumergiendo las muestras en solución líquida del ácido mencionado. Los compuestos sulfurosos acabaron desapareciendo más o menos rápidamente, en este caso fue posible ver algo de oro libre, constatándose que la granulometría de este metal es realmente muy fina.

El siguiente grupo de pruebas consistió en tostar el mineral con quemadores a gas por un determinado lapso de tiempo, para posteriormente moler y amalgamar tal como lo hacen los mineros. La primera duda que surgió fue saber si realmente tostar o quemar pizarras ayudaba al proceso, la segunda interrogante fue saber hasta donde era efectivo tostar minerales en un rango sumamente variable de tamaños de grano, desde centímetros hasta micrones, ya que se sabe por experiencia

que es más efectivo tostar minerales en granos pequeños, cuanto más fino mejor.



### **PRUEBAS DE LABORATORIO**

Dadas las limitaciones de material y equipo en la zona de trabajo, fundamentalmente para responder a algunas interrogantes técnicas, fue necesario llevar hasta la ciudad de La Paz una determinada cantidad de muestras minerales para continuar con las pruebas experimentales y validar los resultados.

En este trabajo fue importante examinar la ocurrencia del oro, desde el punto de vista de sus posibilidades de tratamiento metalúrgico, como sigue:

- Oro en estado metálico o nativo.
- Oro libre asociado a ganga silíceo o cuarzo.
- Oro libre asociado a pirita, arsenopirita y otros minerales menores.
- Oro formando telururos y otros compuestos minerales menos frecuentes.
- Oro en cualquiera de sus formas, asociado a sulfuros metálicos.
- Oro formando solución sólida con otros elementos.

La caracterización mineralógica, química y metalúrgica del mineral es determinante para la selección del proceso o procesos de concentración que permitan la mayor y más eficiente recuperación del oro.

Los resultados preliminares, mostraron que la tostación no tiene un efecto sustancial en la recuperación del oro, la recuperación está íntimamente ligada a otros factores tales como el tamaño de grano del oro y al grado de molienda que se obtiene en los quimbaletes.

El oro de la zona de Untuca es bastante fino y poroso, esto hace que su densidad aparente sea menor y por lo tanto no se amalgama, flota en el agua (este aspecto fue experimentalmente comprobado) y abandona

fácilmente la batea del quimbaete juntamente al agua de rebalse, de ahí la ley alta de los relaves y el interés de los compradores en estos. El oro muy fino no puede ser amalgamado, es en cambio muy apto para la cianuración. El mercurio atrapa muy bien a los granos de oro cuando estos están libres, limpios y en un rango de tamaño aproximado de 70  $\mu\text{m}$  - 1.5 mm. Si el tamaño de grano es mucho más fino, como en este caso, se presentan problemas en la amalgamación. Al parecer, la tostación del mineral es una costumbre sumamente arraigada en la zona, pero cuyo fundamento técnico no está demostrado. Los mineros indican que deben necesariamente tostar su mineral por unas doce horas y dejar que las cenizas se enfríen naturalmente, porque si aceleran el enfriamiento por ejemplo con agua, el oro no se amalgama y no se recupera bien, este hecho no tiene una explicación lógica y es mas bien una tradición que ellos la aceptan como verdadera.

Adicionalmente, se contó con otras dos fuentes de verificación que confirmaron que el oro en la zona de Untuca es bastante fino:

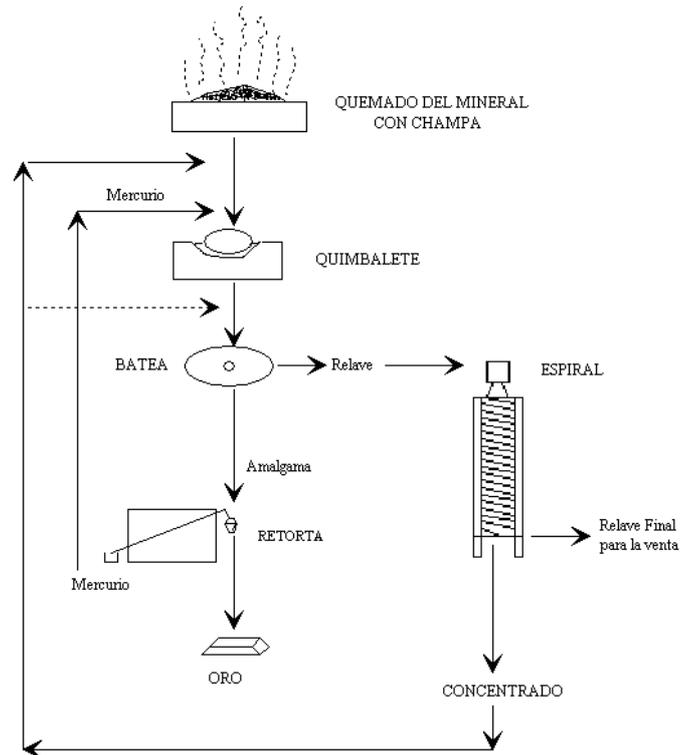
- Se está instalando una planta de flotación para recuperar el oro fino. Las partículas cuyo tamaño es superior a 0,2 mm (65 # Ty) no son flotables, debido a su peso, por tanto se puede concluir que la empresa también comprobó que el oro presente en el yacimiento es muy fino.
- Los compradores de relaves verifican el contenido de oro en la carga con una puruña, la cantidad de oro libre en la muestra les da una idea del contenido de oro y en base a este simple ensayo pagan al minero, este oro no pudo ser atrapado por el mercurio y escapó del quimbaete.



*Sacos conteniendo los relaves listos para su venta. Cada saco contiene aprox. 50 kg. de relave.*



El comprador ensayando la "ley" de los relaves con una puruña  
PROCESO MEJORADO

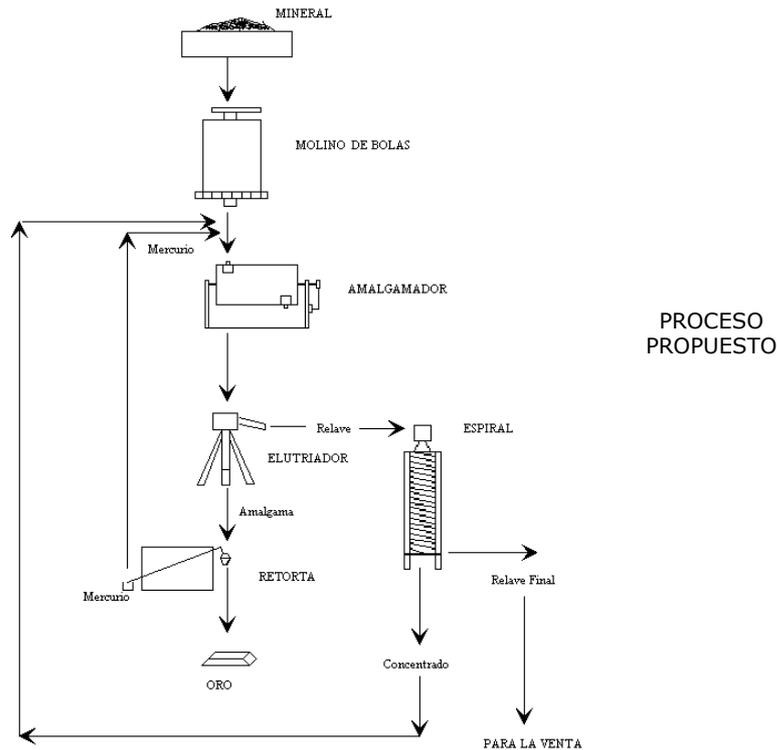


Aquí se ve una espiral Reichert que recupera el oro fino libre en forma de concentrado, que los mineros pierden en sus relaves; este

concentrado puede retornar al quimbaleta para una posterior remolienda y amalgamación o en su defecto directamente a amalgamación. La retorta permite recuperar el mercurio de la amalgama y su recirculación al quimbaleta.

Este esquema de procesamiento no solo mejora la recuperación de oro, sino que también facilita el control del mercurio utilizado, un buen porcentaje del mercurio pulverizado en el quimbaleta se recupera en el concentrado de la espiral.

Además, inicialmente no introduce cambios traumáticos en el proceso tradicional porque se mantiene el quemado con champa y el uso del quimbaleta, esto hasta lograr que los mismos mineros se den cuenta por ellos mismos que el quemado del mineral no mejora la recuperación de oro y que la recirculación de mercurio les permite ahorrar dinero, protegiendo simultáneamente el medio ambiente.



Este diagrama de flujo está formado por una etapa de molienda en molino a bolas, amalgamación del mineral molido en un tambor, separación amalgama - relave en un elutriador o hidroseparador, los relaves pasan por una etapa de concentración gravitacional en la espiral obteniéndose dos productos, un concentrado que retorna a la etapa de molienda o a la amalgamación y los relaves finales que recién pueden ser comercializados, esta etapa aumenta la recuperación de oro porque permite captar los valores incluidos en los relaves, los que normalmente se pierden cuando se usa solo el quimbalete. La amalgama del elutriador o hidroseparador pasa por la retorta en la cual se recupera, por un lado el mercurio para recirculación y el oro.

La adición del molino a bolas aumenta la recuperación del oro en el proceso porque permite una mayor liberación del metal de interés en un menor tiempo. La energía necesaria para mover tanto el molino como el tambor amalgamador no resultan ser un problema por que en la zona existen potenciales fuentes de generación de energía hidráulica. Las ruedas de agua son el aprovechamiento más simple de la energía de la corriente de agua, son aptas para el empleo en la zona, debido a sus variadas posibilidades de impulso mecánico directo de maquinaria de beneficio (trituradoras, molinos, jigs, amalgamadores, mesas concentradoras, etc.), las obras hidráulicas son sencillas, son fáciles de construir localmente con materiales del lugar y se caracterizan por sus costos muy bajos de operación, mantenimiento y reparación.

Esta alternativa técnica que resulta ser la más completa, sería aplicada siempre y cuando los mineros de Untuca cambien su sistema de trabajo de individual a un sistema centralizado tipo Cooperativa o Pequeña Empresa incrementando enormemente su capacidad de producción y logrando mayores beneficios.

## **CONCLUSIONES**

El mineral de Untuca está compuesto principalmente de pizarras, cuarzo y sulfuros de As y Sb (en ese orden).

El oro está presente en forma de partículas muy finas, granos menores a 0.15 mm, - 100 # Ty. Tiene un peso específico bajo, es poroso y laminar y puede flotar en el agua.

Si bien el quemado o tostado del mineral permite subir un tanto la recuperación, su efecto no es sustancial.

El Tostado con quemadores a gas, no mejora el proceso de quemado con "champa", si bien reduce el tiempo de tostado el costo de este combustible es un problema que hay que tomar en cuenta.

El quemado permite eliminar parte de los sulfuros existentes en el mineral.

La liberación del oro depende del grado de molienda que se pueda obtener en el quimbalete.

El mercurio puede atrapar solamente hasta determinado tamaño de grano de oro (mayores a 70  $\mu\text{m}$ ). Oro más fino es difícil de amalgamar.

Se recomienda activar o limpiar el mercurio antes de ser utilizado en la amalgamación.

Definitivamente, quienes realmente salen favorecidos con el proceso quemado-molienda-amalgamación, son los compradores de relaves, porque reciben mineral tostado, molido, con oro fino libre, y esta carga es ideal porque ya está preparado para un proceso directo de cianuración.

Mientras se siga desarrollando el trabajo de manera individual, es muy difícil introducir mejoras técnicas que permitan incrementar la capacidad de producción de los mineros en la zona.

# **Capítulo 5**

**Drenagem Ácida e  
Alguns Problemas Ambientais  
Drenage Acido y  
Algunos Problemas Ambientales**

---

**TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA:  
MANEJO AMBIENTAL DE LODOS DE ALTA DENSIDAD –  
ESTABILIDAD – DEPOSICIÓN FINAL O APLICACIONES**

*Gerardo Zamora E. (\*)*  
Profesor de Postgrado –  
Universidad Técnica de Oruro  
Bolivia

---

**RESUMEN**

Las aguas ácidas de muchas minas, formadas en su interior como un proceso natural de oxidación de minerales sulfurados y catalizados por el género de bacterias *Thiobacillus Ferrooxidans*, que actualmente son evacuadas al medio ambiente sin un tratamiento previo, aportan fuertes cargas de metales pesados y ambientes ácidos a las cuencas superficiales y del Lago Poopó, como principal cuerpo receptor acuoso del altiplano boliviano.

Asimismo, las actividades mineras desarrolladas en épocas anteriores y que han dado lugar al abandono de residuos sólidos mineros como son las colas y los desmontes; mismos que, son considerados actualmente como "pasivos ambientales" y "potenciales generadores de drenajes ácidos" acrecentan el impacto ambiental a los ecosistemas de la región altiplánica.

Esto hace pensar que desde el punto de vista técnico y económico sea necesario "tratar las aguas ácidas de mina" mediante un proceso sencillo, rápido y que permita el tratamiento de grandes volúmenes de agua.

En el presente estudio se presenta, como alternativa el tratamiento de las aguas ácidas de mina, el proceso físico-químico de la neutralización-precipitación continua, introduciendo el principio de la formación de lodos de alta densidad. Se estudia la estabilidad de los lodos obtenidos y se vierten conceptos para su uso o alternativas de deposición.

Los resultados del trabajo de investigación desarrollado muestran que, es posible desde el punto de vista ambiental, tener efluentes cuyas descargas cumplen con los límites permisibles de descarga establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la normativa boliviana; además que, los lodos obtenidos son fáciles de separar y desde el punto de vista de la química son relativamente estables para su deposición final. Su aplicación en la construcción puede ser interesante para generar ingreso y pagar costos de tratamiento.

## 1. ANTECEDENTES

Las aguas ácidas generadas en el interior de las minas abandonadas y/o en operación; además de los pasivos ambientales, provocan hoy en día en una de las principales fuentes de contaminación al medio ambiente en varias regiones mineras del altiplano boliviano, debido a la presencia de una serie de metales pesados disueltos y a su carácter fuertemente ácido.

La restauración de los sitios mineros abandonados y el tratamiento de las aguas ácidas de mina, son las "prioridades ambientales nacionales" que permitirán disminuir y/o eliminar la elevada contaminación por cargas de metales pesados tóxicos de los cuerpos receptores acuáticos del altiplano boliviano.

El objeto de estudio del presente trabajo técnico es el Tratamiento Físico-Químico, mediante Neutralización-Precipitación con Cal, mediante un sistema continuo de formación de lodos de alta densidad (HDS) y la Estabilidad Química de los lodos obtenidos para fines posteriores de deposición y/o aplicación en la industria de la construcción.

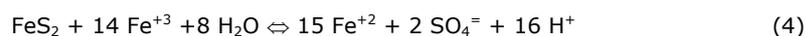
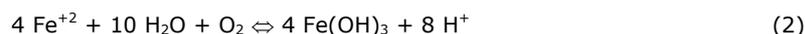
## 2. OBJETIVO

El objetivo del desarrollo de las pruebas a nivel laboratorio de Tratamiento Físico-Químico por Neutralización – Precipitación de las Aguas Ácidas, es en primer lugar, determinar el grado de eliminación de metales pesados tóxicos y las condiciones de operación adecuadas en el proceso a objeto de alcanzar niveles de descarga de contaminantes que se enmarquen a la normativa ambiental boliviana; y en segundo lugar, determinar la estabilidad química de los lodos obtenidos y establecer alternativas de deposición y/o aplicación en el área de la construcción.

## 3. IMPACTO AMBIENTAL POR DRENAJES ÁCIDOS

Producto de la explotación minera en el altiplano boliviano se han generado grandes volúmenes de "pasivos ambientales", que hoy en día se constituyen en fuentes principales de contaminación ambiental.

La formación de Drenaje Ácido de Roca (DAR), a partir de los pasivos ambientales, se debe a la reacción de oxidación de los sulfuros presentes, especialmente pirita, con agua y oxígeno, que de acuerdo a las siguientes reacciones, generan iones  $H^+$ :



La reacción 3, es catalizada por microorganismos del género *Thiobacillus Ferrooxidans* a valores de pH ácidos, generando iones  $Fe^{+3}$ , con un fuerte potencial de oxidación que dan lugar a la disolución de la pirita mediante la reacción 4 y de otros sulfuros presentes, generando altas concentraciones de iones  $H^+$  que modifican el valor del pH e incrementando la concentración de metales pesados de los acuíferos a los cuales fluyen.

Por otra parte, las aguas ácidas de mina, generadas en el interior de una mina por un proceso de oxidación de minerales sulfurados en presencia de oxígeno y agua y catalizadas por el género de bacterias *Thiobacillus Ferrooxidans*, se constituyen también en una fuente potencial de contaminación ambiental en muchas regiones del altiplano boliviano con historia minera.

El efecto de ambos casos, puede demostrarse en el monitoreo realizado por el Proyecto Piloto Oruro (PPO), quienes reportan valores de pH bastante ácidos en los acuíferos superficiales de zonas en las que se tiene o se ha dado lugar a una fuerte actividad minera, como se muestra en la Figura 1.

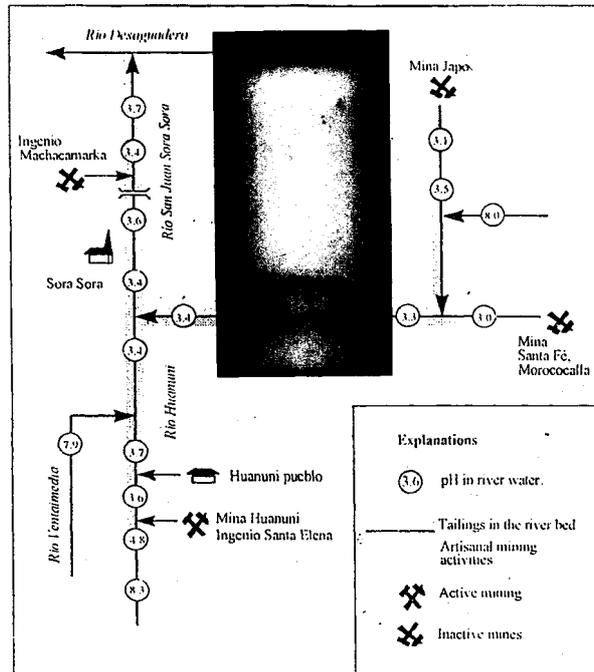


Figura 1 - Monitoreo del pH de ríos que contribuyen al Lago Uru Uru

Asimismo, a partir de la determinación de la concentración de metales pesados en los ríos de la cuenca endorreica cerrada que tributan sus aguas a los Lagos Uru Uru y Poopó y la medición de caudales de los mismos, se han reportado "resultados alarmantes de la carga por metales pesados" que tienen como destino final tienen el Lago Poopó y que se presentan en la Figura 2.

De acuerdo a datos del proyecto PPO, representados en la Figura 2, el Lago Poopó recibe un **aporte anual en toneladas de metales pesados de: 63.8 de As – 29.2 de Cd – 61.6 de Cu – 8.2 de Pb – 8 de Sb y 3417 de Zn**; teniendo como fuentes a acuíferos superficiales que son contaminados por las **escorrentías de pasivos ambientales y aguas ácidas de mina**. La enorme contaminación a la que se encuentra sometida este cuerpo acuoso receptor, exige de medidas inmediatas de mitigación.

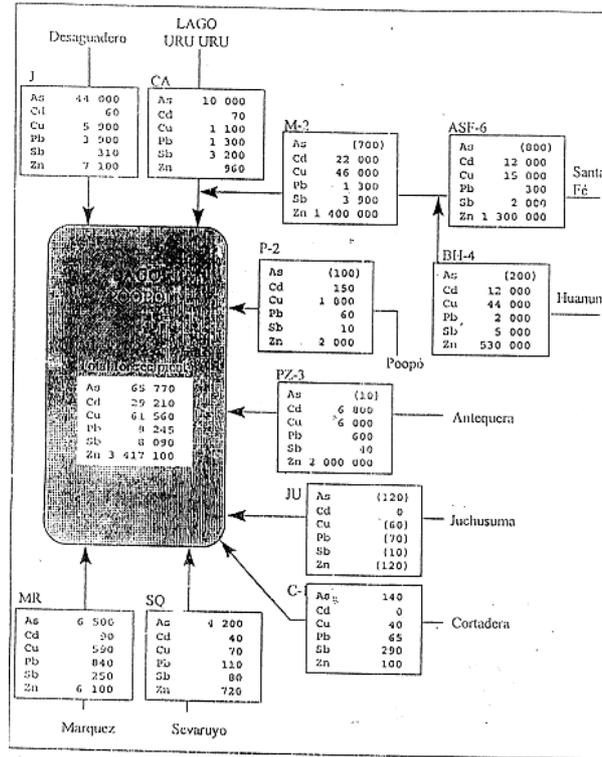


Figura 2 - Balance de Carga de Metales Pesados de Ríos Tributarios al Lago Uru Uru y Poopó (Unidades expresadas en kilogramos).

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Caracterización Físico - Química de las Aguas Ácidas de Mina Estudiadas

Los resultados de la caracterización físico-química de las Aguas Ácidas de Mina estudiada son presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1 - Resultados del Análisis físico químico del Agua Acida de Mina Estudiada**

Parámetro	Norma	Límite de Detección	Agua Acida de Mina Japo
Temperatura		+/- 0.1 °C	13.5 °C
PH	ASTM D 1293	+/- 0.01	2.5
Sólidos Disueltos	ASTM D 2540 C	5 ppm	<5
Conductividad	ASTM D 1125	5 µS/cm	2950

Los resultados del análisis químico por metales pesados de la muestra de las Aguas Ácidas de Mina estudiada, se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2 - Resultados del Análisis Químico por Metales Pesados del Agua Acida de Mina Estudiada**

Elemento	Norma	Límite de Detección (ppm)	Agua Acida de Mina Japo (ppm)
Arsénico As	ASTM D 2972	0.002	0.079
Cadmio Cd	ASTM D 3557 A	0,01	12.41
Cobre Cu	ASTM D 1688 A	0,02	14.53
Hierro Fe	ASTM D 1068 A	0,03	299.46
Plomo Pb	ASTM D 3559 A	0,1	0.2
Zinc Zn	ASTM D 1691	0,005	217.405

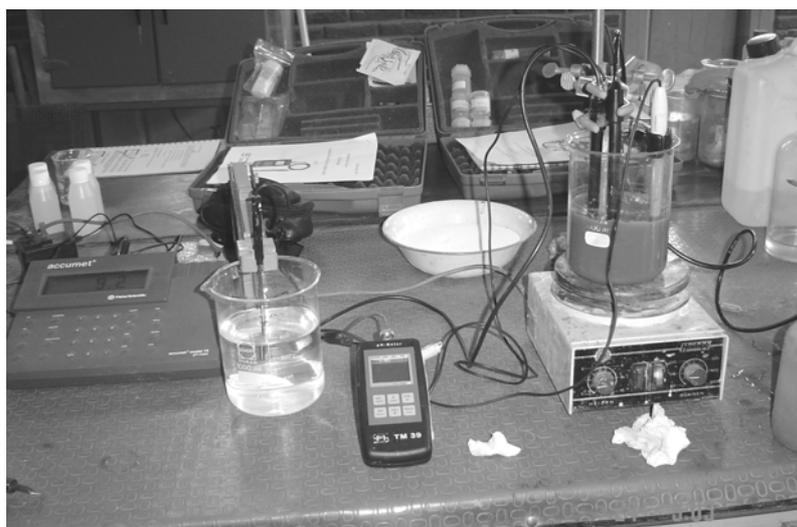
Las altas concentraciones en los metales pesados analizados y la elevada acidez en el agua de mina permiten demostrar que es necesario aplicar un tratamiento previo a su evacuación al medio ambiente a objeto de no impactar en la calidad de los acuíferos receptores.

#### 3.2. Pruebas Discontinuas Exploratorias

Las pruebas de Neutralización - Precipitación fueron realizadas en un reactor de lixiviación con agitación mecánica con volúmenes de 500 ml. de agua ácida de mina.

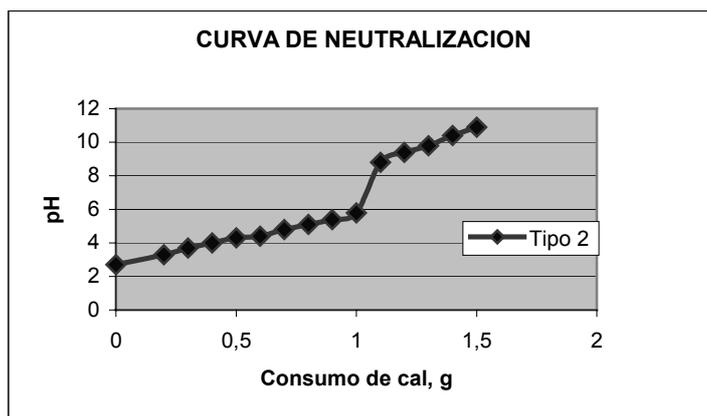
La Fotografía 1, muestra la disposición del equipo en el que se

realizaron las pruebas de neutralización precipitación.



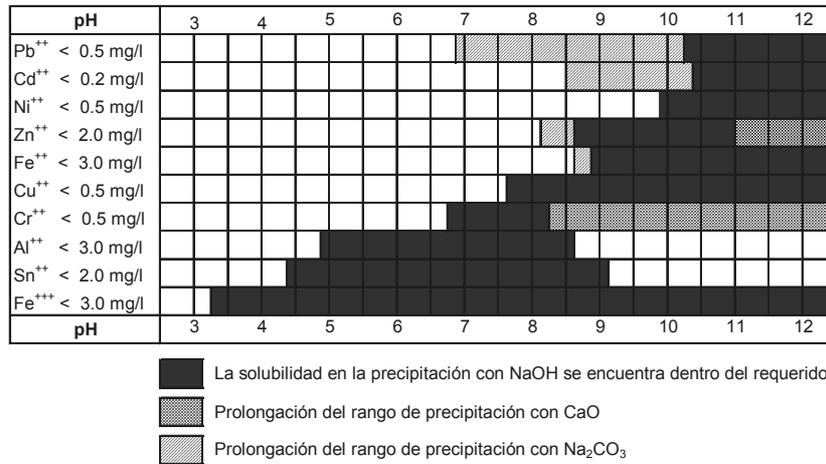
**Fotografía 1 - Disposición del Equipo utilizado para las pruebas de Neutralización - Precipitación**

Los consumos del agente de neutralización-precipitación (Cal de 62.35 % de pureza) son graficados en la Figura 3.



**Figura 3 - Curva de Neutralización usando la Cal**

El pH final elegido se fundamenta en la gráfica siguiente, obtenida de manera experimental en otros estudios:



**Figura 4- pH de Precipitación de Metales Pesados**

Como se observa, la precipitación especialmente de Cd<sup>++</sup> y de Zn<sup>++</sup> y Fe<sup>++</sup> se lleva a cabo por encima de valores de pH de 8.5

Los resultados del análisis químico de la solución filtrada y su comparación con los límites permisibles establecidos en el Anexo 2 del Reglamento en materia de Contaminación Hídrica de la Normativa Ambiental Boliviana, es presentada en la Tabla 3.

**Tabla 3 - Resultados de Análisis Químico de la Prueba Final Discontinua de la Neutralización – Precipitación de las Aguas Ácidas de Mina Estudiada**

		Código Cliente	LCM-03/06	Límite
		Cód. Laboratorio	1954	descarga
Parámetros	Método	LD/ppm		
pH	ASTM D 1293		8.8	6 - 9
Arsénico (mg/l)	ASTM D 2972	0.002	0.005	1.0
Cadmio (mg/l)	ASTM D 3557 A	0,01	0.03	0.3
Cobre (mg/l)	ASTM D 1688 A	0,02	0.03	1.0
Hierro (mg/l)	ASTM D 1068 A	0,03	< 0,03	1.0
Plomo (mg/l)	ASTM D 3559 A	0,1	<0,1	0.6
Zinc (mg/l)	ASTM D 1691	0,005	0.057	3.0

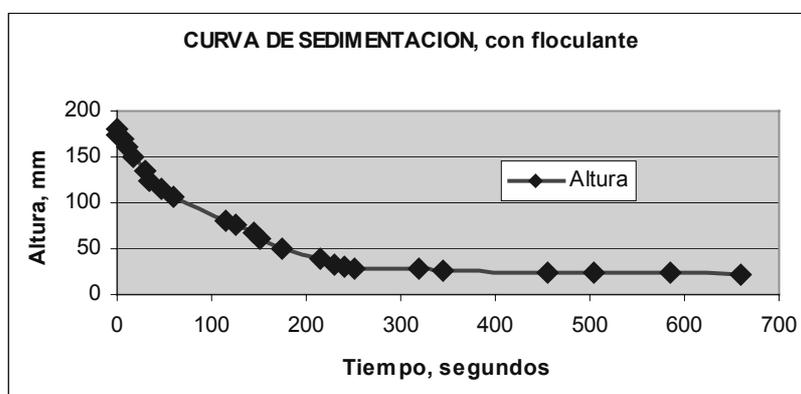
Como se evidencia en los datos presentados en la Tabla 3, “las concentraciones de metales pesados en el efluente de descarga del proceso de Neutralización – Precipitación están por debajo de los límites permisibles de descarga establecidos en la normativa ambiental boliviana”.

Los resultados de la caracterización físico-química del producto de precipitación son presentados en la Tabla 4.

**Tabla 4 - Resultado de la caracterización de los productos de precipitación**

<b>Datos Técnicos</b>	
Volumen de filtrado (ml)	485
Peso Húmedo del Queque (gr)	14
Peso Seco del Queque (gr)	4.35
Humedad del Queque (%)	68.93
Peso Específico del Queque Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.746

A objeto de determinar los datos técnicos referidos a la decantabilidad del producto precipitado, que serán necesarios para el diseño y dimensionamiento de los sedimentadores; es necesario, obtener datos de sedimentación con probeta inclinada. Los resultados obtenidos en dicha prueba son presentados en las figuras 5.



**Figura 5 - Curva de Sedimentación del Producto de la Neutralización-Precipitación de la Prueba Discontinua Final usando la cal Tipo 2 (con el uso de floculante)**

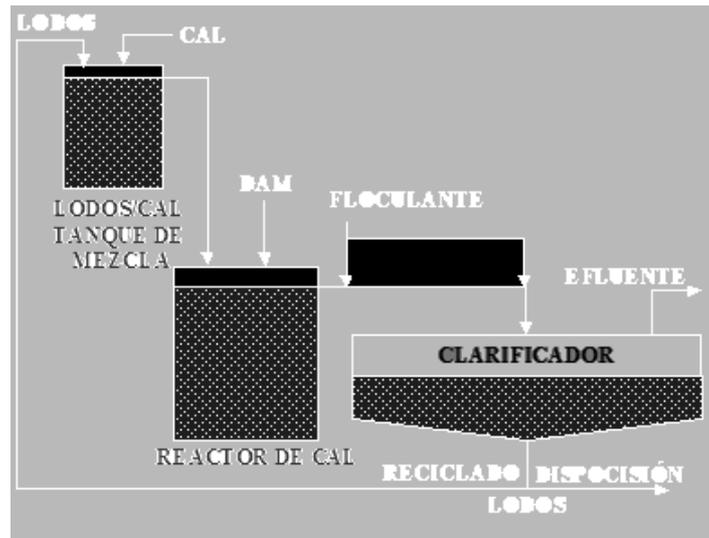
La predicción de los productos de precipitación mediante el software “Visual Minteq” son presentados en la Tabla 5. A partir de dicha predicción se podrán buscar alternativas para su posterior uso.

**Tabla 5- Índices de Saturación de las Especies Sólidas (pH = 8.8)**

Fase Sólida	Mineral	log IAP	Índice de Saturación S.I.	Stoichiometry and mineral components
CaSO <sub>4</sub>	Anhidrita	-3.736	0.580	Ca <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = CaSO <sub>4</sub>
Cd <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO <sub>4</sub>		30.634	2.234	4Cd <sup>2+</sup> + 6H <sub>2</sub> O + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = Cd <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO <sub>4</sub> + 6H <sup>+</sup>
CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ferrita cúprica	10.722	3.456	Cu <sup>2+</sup> + 2Fe <sup>3+</sup> + 4H <sub>2</sub> O = CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 8H <sup>+</sup>
CuFeO <sub>2</sub>	Ferrita cuprosa	4.928	13.749	Cu <sup>+</sup> + Fe <sup>3+</sup> + 2H <sub>2</sub> O = CuFeO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup>
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>		21.746	1.524	Fe <sup>2+</sup> + 2Fe <sup>3+</sup> + 8H <sub>2</sub> O = Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub> + 8H <sup>+</sup>
Fe(OH) <sub>3</sub>	Ferrihidrita	4.216	0.579	Fe <sup>3+</sup> + 3H <sub>2</sub> O = Fe(OH) <sub>3</sub> + 3H <sup>+</sup>
α-FeOOH	Goethita	4.232	3.373	Fe <sup>3+</sup> + 2H <sub>2</sub> O = □-FeOOH + 3H <sup>+</sup>
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Yeso	-3.769	0.847	Ca <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O = CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
γ-FeOOH	Lepidocrocita	4.232	2.861	Fe <sup>3+</sup> + 2H <sub>2</sub> O = □-FeOOH + 3H <sup>+</sup>
Pb(OH) <sub>2</sub>		10.636	2.130	Pb <sup>2+</sup> + 2H <sub>2</sub> O = Pb(OH) <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup>

### 3.3. Pruebas Continuas de Neutralización – Precipitación Aplicando el Proceso HDLS

El principio de la formación de los lodos de alta densidad se basa en la recirculación de una parte del producto de precipitación y su mezclado junto con la cal en un reactor; cuya descarga, va a un segundo reactor donde el Agua Ácida de Mina es alimentada. Finalmente, se procede a la separación sólido/líquido. El flujograma 1, describe dicho proceso.



**Flujograma 1 - Tratamiento de AAM mediante el proceso de HDS**

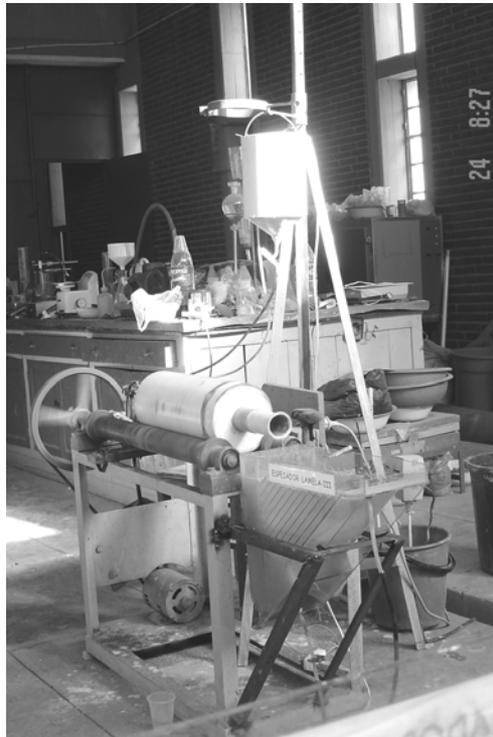
Esta forma de tratamiento permite que:

- ✓ Los lodos sean envueltos con partículas de cal en el tanque de mezcla lodos/cal
- ✓ Se fuerce a que las reacciones de precipitación ocurran en la superficie de las partículas existentes
- ✓ Se aumente el tamaño de las partículas, la tasa de sedimentación y la densificación. Los lodos de alta densidad se producen debido a:
- ✓ La disolución parcial del lodo al contacto directo con DAM
- ✓ El aumento del pH y la precipitación de los metales en el primer reactor
- ✓ La precipitación se da sobre la superficie de las partículas existentes y de esta manera las partículas aumentan de tamaño

La Neutralización

Precipitación bajo el principio de los Lodos de Alta Densidad se realizó en un reactor continuo que consta de: Un reactor de 4 litros de capacidad en el que se carga el agua ácida de mina; un reactor con agitación mecánica para la preparación de la lechada de cal y la recirculación de los flóculos precipitados; una bomba peristáltica que transporta la lechada de cal y flóculos al reactor horizontal de mezcla de 4

litros de capacidad; y finalmente, una lamela para la separación de los productos de precipitación y el rebose del agua clara; y posterior densificación en forma de lodos de alta densidad. La Fotografía 2, muestra la disposición de los reactores para la realización de la prueba de neutralización-precipitación continua.



**Fotografía 2 - Disposición del equipamiento utilizado para la prueba de neutralización-precipitación continua**

Las condiciones técnicas de operación de la prueba continua son detalladas a continuación:

1. Volumen inicial del agua ácida: 20 litros
2. pH inicial del agua ácida = 2.7
3. Sólidos en suspensión al inicio de la muestra: 7.82 g/lit
4. Pureza de la cal usada: 63.25%
5. Lechada de la cal preparada: 6 litros (52 gramos)

6. Volumen de agua en la Lamella, antes de la operación: 6 litros (para permitir un flujo constante)
7. Tiempo duración de la prueba continua: 2 1/2 horas
8. Flujo de salida del reactor de mezcla: 173.3 cm<sup>3</sup>/min (sin recirculación del underflow de la lamela)
9. Flujo de alimentación del agua acida: 2.5 cm<sup>3</sup>/seg
10. Flujo de alimentación de la lechada de cal: 0.65 cm<sup>3</sup>/s
11. Flujo salida del reactor al Lamella: 189 cm<sup>3</sup>/min (con recirculación del underflow de la lamela)
12. Volumen final del overflow del Lamella: 26.1 litros
13. Volumen final del underflow del Lamella: 4.85 litros
14. Densidad de pulpa del overflow: 1,004 g/l
15. Densidad de pulpa del underflow: 1,014 g/l
16. %Sólidos del overflow: 0.45%
17. %Sólidos del underflow: 25%
18. Peso húmedo del queque del underflow filtrado: 344 g
19. Peso seco del queque del underflow filtrado: 82 g

**Tabla 6 - Resultados de Análisis Químico de la Prueba Final Continua de la Neutralización – Precipitación de las Aguas Ácidas de Mina**

Parámetros	Unidades	Método	Límite Detección/ppm		Norma Boliviana
pH		ASTM D 1293	9.2		6 - 9
Conductividad	[μS/cm]	ASTM D 1125	5	2750	
Sólidos Disueltos	[mg/L]	ASTM D 2540 C	5	<5	
Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	[mg/L]	ASTM D 516	1	955	
Arsénico As	[mg/L]	ASTM D 2972	0.002	<0,002	1.0
Cadmio Cd	[mg/L]	ASTM D 3557 A	0,01	0.02	0.3
Cobre Cu	[mg/L]	ASTM D 1688 A	0,02	0.04	1.0
Hierro Fe	[mg/L]	ASTM D 1068 A	0,02	< 0,03	1.0
Plomo Pb	[mg/L]	ASTM D 3559 A	0,1	<0,1	0.6
Zinc Zn	[mg/L]	ASTM D 1691	0,005	<0,005	3.0

Posteriormente, se determinó la "estabilidad química" del producto de neutralización- precipitación, mediante el "test de toxicidad". La prueba de toxicidad fue llevada a cabo de acuerdo a los protocolos de la OPS; preparándose una pulpa con el producto de la neutralización-precipitación al 20% de sólidos; añadiendo ácido acético hasta alcanzar un

pH de 5.5 y solución buffer a objeto de que el pH se mantenga constante; para finalmente, mantener agitada la pulpa durante 24 horas. Los resultados de las pruebas de toxicidad y su comparación con los valores de concentración máximos permisibles establecidos en la normativa 40 CFR 261.30 (EPA 1312), son presentados en la Tabla 7.

**Tabla 7 - Resultados de Análisis Químico de la Solución Filtrada del Test de Toxicidad y su Comparación con las Concentraciones Máximas Permisibles**

Elemento	Muestra (mg/l)	Norma (mg/l)
Arsénico	0.14	5
Cadmio	14.68	1
Cobre	12.93	25
Plomo	3.3	5
Zinc	1676	250

Finalmente, se estudió la posible aplicación de los lodos obtenidos en el campo de la construcción. Se aprovecho la coloración rojiza a pardo de los lodos para formar material de "revoque" y al mismo tiempo de "pintura" de paredes. El lodo es de más fácil manipulación cuando se mezcla con estuco, favoreciéndose así a su aplicación final.

#### 4. CONCLUSIONES

Del trabajo de investigación desarrollado, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ A partir de la elevada acidez y de la concentración de metales pesados presentes en las aguas ácidas evacuadas, se confirma que éstas requieren de un tratamiento físico-químico, antes de su evacuación al medio ambiente, a objeto de no alterar la calidad de los cuerpos receptores acuáticos
- ✓ A pH de 8.8 es posible precipitar los metales pesados hasta concentraciones por debajo de las concentraciones medias máximas permisibles de descarga establecidos en el Anexo 2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Normativa Ambiental Boliviana
- ✓ El producto de precipitación obtenido y de acuerdo a las curvas de sedimentación obtenidas, es de fácil sedimentación con el uso de floculante
- ✓ Mediante el software "Visual Minteq" es posible predecir los posibles productos de precipitación obtenidos

A partir de los siguientes datos de operación de la prueba continua:

- ✓ Densidad de pulpa del overflow: 1,004 g/l - Densidad de pulpa del underflow: 1,014 g/l - %Sólidos del overflow: 0.45% - %Sólidos del underflow, después de la densificación: 25% - Peso húmedo del queque del underflow filtrado: 344 g - Peso seco del queque del underflow filtrado: 82 g - pH del agua clara de rebose de la Lamela de 9.1 se precipitan los metales pesados hasta concentraciones por debajo de las concentraciones medias máximas permisibles de descarga establecidos en el Anexo 2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Normativa Ambiental Boliviana
- ✓ Los lodos pueden ser usados para el "revoque" de las paredes y por su coloración, sin adición de pigmentos, se obtiene un color en las paredes de características especiales.

## **DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL SECTOR MINERO METALÚRGICO PERUANO**

*Luis Orihuela Salazar*  
Ingeniero Metalúrgico,  
Profesor de la UNMSM  
Peru

---

### **EL SECTOR MINERO EN EL PERÚ**

Los problemas ambientales de la minería en el Perú, se presentan en el contexto de una actividad minera polimetálica, que va desde la gran minería (oro, cobre, hierro) mediana y pequeña minería, hasta la minería artesanal e informal.

La actividad minera en el Perú, se desarrolla en la parte norte, centro, sur de la cadena occidental de la Cordillera de los Andes, abarcando varias cuencas y microcuencas.

También hay actividad minera informal y pequeña en los Departamentos de Madre de Dios y Puno, ubicados en la parte sur oriental del país, principalmente dedicadas a extracción de oro.

Se estima que el Perú posee el 16% de las reservas mundiales de plata, 15% de cobre y 17% de zinc

Ello lo ubica entre los siete países del mundo con mayores recursos mineros, ocupa el segundo lugar en el mundo en producción de zinc y bismuto el tercero en plata y telurio, el cuarto en plomo, el quinto en cobre y estaño, el sexto en tungsteno y molibdeno, el noveno en oro.

Actualmente, el sector minero-metálico representa el 8.4% del PBI nacional, su contribución se eleva al 11% si se incluye, las etapas de fundición y refinación.

Los minerales con mayor participación son el cobre (30%), el oro (22%) y el zinc (15%); le siguen en orden de importancia la plata, el plomo, el estaño, el hierro y otros minerales

El actual programa de inversiones del Ministerio de Energía y Minas, elaborado antes de la crisis asiática, proyectaba inversiones mineras ascendentes a los 10.175.3 millones de dólares durante el periodo 1997-2006

En el Perú, la minería coexiste con la actividad agrícola y ganadera desarrollada por decenas de comunidades campesinas asentadas en los Andes y en otras regiones del país.

La minería genera progreso y desarrollo económico en zonas remotas donde muchas veces la presencia del Estado es precaria. Como toda actividad económica, ésta implica riesgo de producir daños ambientales afectando la salud pública de poblaciones enteras. Además, la minería ve frenada sus expectativas de desarrollo en el país debido, principalmente, a los conflictos sociales generados por el daño al medio ambiente

Estos factores han dado lugar a la deforestación de 5 millones de hectáreas desertificación y erosión de suelos, altas pérdidas de diversidad biológica contaminación atmosférica de suelos y aguas en zonas especialmente en áreas de explotación mineras.

## **DIAGNOSTICO**

Los principales impactos ambientales en el Perú tienen su origen en efluentes ácidos con elevados niveles de metales pesados provenientes de minas y canchas de relave descargados sin tratamiento en los cursos de agua, deslizamiento de importantes volúmenes de desmonte de las canchas de relave por inestabilidad de taludes, uso de grandes volúmenes de agua para otros usos que compiten por ese recurso, pérdida de miles de hectáreas en perjuicio de la agricultura y ganadería de las comunidades campesinas, Impactos en la salud de los habitantes de las zonas mineras y migración forzada de comunidades.

Las regulaciones ambientales que se han establecido para la actividad minero metalúrgico en el Perú son un gran avance estando orientadas a crear un marco jurídico que asegure no sólo al inversionista, sino también a la comunidad: pero aún los problemas persisten porque el tema ambiental aún no es prioritario en la agenda del gobierno

El cumplimiento de una legislación ambiental bien diseñada no representa un costo adicional para las empresas, sino más bien incentiva la innovación tecnológica, incorporando tecnologías limpias, permitiendo un cambio de percepción de la comunidad respecto a la actividad minera

Ello nos obliga reestructurar una visión más integral de nuestro entorno, revisando nuevos procesos para garantizar bienestar y cuidado a nuestros recursos naturales, creando y desarrollando nuevas tecnologías, sin caer en el extremo de ser ambientalistas.

Tener esa visión es tan crucial y realista que nos hace ver que los daños ambientales originan un costo que tarde o temprano alguien tendrá que pagarlo.

Los problemas ambientales localizados en las zonas mineras, hace que el Estado dirija su acción y competencia hacia organismos del sector público, elaborando políticas y mecanismos regulatorios, fiscalización y control correspondiente.

La intervención de los diferentes sectores hace que sectores productivos se constituyan en juez y parte del control ambiental. Cada sector al asignarse un territorio para desarrollar sus actividades, harán que existan conflictos de intereses, ello da lugar a que existan mapas minero, forestal, turístico, arqueológico, de uso poblacional, etc.

Todo esto trae como consecuencia la no-solución cuando se produce un problema ambiental por la superposición de funciones, ejemplo, el recurso de agua, al tener múltiples usos y usuarios (agrario, urbano, minero, turístico, etc.) involucra muchas autoridades.

### **ROL DEL ESTADO**

El Estado buscando el bienestar social dentro de los parámetros de desarrollo sostenible debe disponer los siguientes indicadores para el monitoreo de variables: Índices de contaminación: aire, agua, suelo, cumplimiento de inversiones Ambientales, emisión de gases: SO<sub>2</sub>, Recuperación y reforestación de áreas, reciclaje de desechos

El desafío de todo gobierno es el cómo diseñar y aplicar sistemas de gestión ambiental en el sector minero metalúrgico

Se trata de conciliar tres grandes objetivos para el desarrollo sustentable:

- Crecimiento económico
- Equidad
- Cuidado del medio ambiente.

⇒ **El crecimiento económico** se mide con indicadores económicos,

⇒ **La equidad** se determina sobre parámetros sociales

⇒ **La sustentabilidad ambiental** se establece en términos físicos y biológicos.

Estos tres objetivos es difícil cuantificarlo mientras no se disponga de parámetros compatibles.

Debemos estar claros que el sector minero en el Perú, es el sector Industrial más contaminante de aguas superficiales y subterráneas, debido a las cargas contaminantes de metales pesados (cobre, Zinc, plomo, cadmio, plata, arsénico, manganeso, etc.) son descargados en el ambiente.

Se ha estimado que las actividades mineras y metalúrgicas en conjunto descargan anualmente más de 13 billones de metros cúbicos de efluentes en los cuerpos de agua del país, cifras dadas por el Banco Mundial – 2000.

## **MARCO LEGAL**

El marco legal actual promueve la inversión nacional como extranjera en igualdad de derechos, facilidades y garantías. La Ley de inversiones extranjera ha permitido un crecimiento del sector minero dentro del desarrollo nacional

El nuevo marco legal ofrece actualmente alternativas interesantes para la inversión en minería: Contratos de estabilidad tributaria, depreciaciones aceleradas, descuentos tributarios, régimen de reinversión y distribución de utilidades y todas las garantías necesarias para la inversión.

## **SISTEMA LEGAL AMBIENTAL**

Para elaborar un Sistema legal ambiental aplicado al sector minero metalúrgico y que sirva como base para un desarrollo sustentable se debe contar con los siguientes factores: Política de crecimiento del sector, política ambiental para el sector y papel del Estado

A continuación y en forma resumida se hará un recuento cronológico de las diferentes leyes que se han dado en el Perú en materia ambiental, permitiendo el desarrollo sustentable y el operar con tecnologías limpias.

- ❑ Decreto Legislativo N° 613 de 07/09/90 aprobación del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales: el derecho a gozar de un ambiente saludable, ecológicamente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida
- ❑ Decreto Legislativo N° 757 de 08/11/91 garantiza la libre iniciativa y la inversión privada.
- ❑ D. Legislativo N° 708, del 14/11/91, que consolida el régimen de inversión privada en el sector minero
- ❑ Ley N° 26821, 25/06/1997): aprovechamiento sostenible de los recursos naturales
- ❑ D.S. N° 044-98-PCM del 11/Nov/1998 Reglamento Nacional para Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles
- ❑ Ley N° 27446 del 23/04/2001), Ley del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental
- ❑ Ley N° 28245 del 08/06/2004, Ley marco del sistema nacional de gestión ambiental cuyo objetivo es fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental

- Ley N° 28245 del 13/10/2005, Ley General del ambiente marca la tendencia en cuanto a la protección ambiental en todos los sectores

### **PLAN MAESTRO DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN MINERO – METALÚRGICO**

Con el Apoyo del Banco Mundial, se diseñó el Programa de Asistencia Técnica al Sector Energía y Minas con el objetivo de implantar una estrategia ambiental para el desarrollo sustentable del Sector Energía y Minas, proteger el medio ambiente de los riesgos resultantes de los agentes nocivos que genera esta actividad, evitar sobrepasar los niveles máximos permisibles, fomentar el desarrollo de nuevas técnicas y procesos relacionados con el mejoramiento del medio ambiente, lograr la adecuación de las operaciones minero – metalúrgica a las normas ambientales, fijar el marco jurídico adecuado de las obligaciones ambientales cuando se inicie el desarrollo de un nuevo proyecto.

Este Reglamento tuvo su sustento en los procedimientos establecidos por la Comisión encargada de reglamentar el Código del medio ambiente, dispuesta por el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)

Esta comisión, fija la responsabilidad de los titulares de actividad minera por las emisiones, vertimientos y disposición de desechos en el ambiente por sus procesos efectuados en las instalaciones mineras. Se les obliga a tomar medidas que permitan evitar e impedir que las sustancias nocivas en el ambiente sobrepasen los niveles máximos permisibles.

Además, se incorporan dos instrumentos clave de gestión ambiental, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

**El EIA** es exigible para actividades nuevas, ampliación de operaciones en más de 50%, cuando se pase de fase de exploración a explotación o cuando se incorpore una concesión de beneficio. En tanto que el **PAMA**, exigible entonces para las operaciones en curso, se concebía como un programa que debería incluir las acciones e inversiones necesarias a ser incorporadas en las actividades u operaciones mineras, los adelantos tecnológicos o medidas alternativas, para reducir o eliminar las emisiones y/o vertimientos y cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos.

A casi más de diez años de la implementación de estos últimos instrumentos, en especial de los PAMAs, se debe decir que estos han permitido insertar medidas que han atenuado la contaminación minera y mucho más importante han ayudado a fomentar una cultura de responsabilidad ambiental respecto a la mitigación de daños causados y la consecuente prevención de potenciales daños futuros.

No deja de ser evidente que los grandes avances y cambios en materia ambiental no han sido acompañados por todo el sector minero, pues hay empresas cuyo desempeño ambiental y social aún deja mucho que desear, ya que se continúa contaminando las aguas, suelos y el ecosistema circundante. Y resulta más grave aún el hecho de que se sigue poniendo en riesgo la salud pública, por ejemplo, en zonas como Cerro de Pasco y la Oroya. Y ni que decir de los problemas ambientales asociados a la pequeña minería y minería artesanal, frente a la actitud indiferente y poco crítica de muchas instituciones públicas y privadas que sólo centran su atención en la gran minería.

El Decreto Supremo N° 046-2004-EM del 29/Dic/2004 establece disposiciones para la prorrogación excepcional de plazos para el cumplimiento de Proyectos Medioambientales Específicos contemplados en Programas de Adecuación y Manejo Ambiental – PAMA.

Esta norma si bien es cierto incorpora a la legislación ambiental minera aspectos novedosos para asegurar el cumplimiento de obligaciones ambientales futuras, no es menos cierto que arrastra el antecedente de haber sido aprobada para contemplar situaciones específicas de empresas cuya voluntad de cumplimiento de obligaciones ambientales asumidas en sus PAMA, es cuestionable. La aprobación de este decreto coincidió con hechos lamentables, como el reiterado incumplimiento por parte de la empresa Doe Run Perú, de sus obligaciones ambientales asumidas en su PAMA correspondientes a sus actividades desarrolladas en la Oroya

La aprobación de este Decreto pone en tela de juicio, la actitud del Estado pues sienta un mal precedente al contribuir a fomentar una cultura de irresponsabilidad ambiental y allanar la vía a las empresas mineras que hayan incumplido compromisos asumidos con antelación en sus PAMAs y que bien pueden ahora acogerse dispuesto por este Decreto.

Esto resulta mucho más grave considerando que la minería es por naturaleza una actividad riesgosa no sólo por los daños ambientales que puede producir sino por el riesgo que puede representar para la salud pública.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los problemas ambientales de la minería en el Perú, se debe a las actividades desde la gran minería (oro, cobre, hierro) mediana y pequeña minería, hasta la minería artesanal e informal.

Las regulaciones ambientales que en los últimos 5 años se han establecido para la actividad minero metalúrgico en el Perú han servido como base para crear un marco jurídico

El Reglamento para la Protección Ambiental se da para lograr la adecuación de las operaciones minero – metalúrgicas esta norma establece la obligación de presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para

nuevos proyectos, y un Programa de Adecuación y Manejo ambiental (PAMA) para empresas que ya están operando.

Si no se tiene una legislación ambiental con normas claras la relación empresa-población y autoridad gubernamental esta condenada al caos, al conflicto social, al desgobierno.

Se debe hacer un seguimiento constante con las empresas mineras cuando presenten EIAs o PAMAs, para su fiel cumplimiento

Se deben definir los límites Máximos Permisibles para proyectos muy sensibles que puedan poner en riesgo a la población

Las autoridades responsables deben hacer respetar los plazos cuando una empresa ha presentado un EIA o un PAMA para dar un mensaje de que se va hacer cumplir la Ley

El D.S. Nº 046-2004-EM del 29/Dic/2004 sienta un mal precedente para otras empresas que incumplan su PAMA

Tener un Plan Maestro Nacional de Control de la Contaminación en la Industria Minera Metalúrgica permitirá reconocer los impactos negativos de los procesos minero metalúrgico, la detección de tecnologías inadecuadas que causan impactos ambientales y en la salud humana.

## **LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA OROYA: CASO DOE RUN PERÚ**

### **El Centro Minero de la Oroya - Perú**

La Oroya está ubicada a lo largo de la Carretera Central y el Ferrocarril Central.

Ambas rutas de transporte suben desde Lima, a través de las montañas, hasta La Oroya a 3,800 metros sobre el nivel del mar. La ciudad está a 180 Km. al noreste de Lima y tiene una población de aproximadamente 35,000 habitantes

La ciudad de La Oroya, está localizada en el departamento de Junín, en la Sierra Central del Perú.

Es un departamento rico en minerales y el centro más grande y antiguo en fundición y refinado de plomo, cobre y zinc en el país.

También existen ahí procesos de producción de plata, oro, cadmio y otros metales como selenio, telurio, indio, bismuto

El complejo metalúrgico de La Oroya tiene una historia de 84 años de actividad minera. Inició sus operaciones en 1922, por la Cerro de Pasco Corporation, en la década de los 70 se crea Centromin Perú, finalmente la unidad de La Oroya fue transferida a la empresa norteamericana Doe Run en octubre de 1997 mediante un proceso de privatización

## **ANTECEDENTES**

La Doe Run, cuya casa matriz se encuentra en el Estado de Missouri en USA, es una antigua empresa minero metalúrgica que opera desde 1864.

Representa una de las principales productoras de plomo en Norteamérica.

Su producción en mina equivale al 85% del plomo que se produce en los Estados Unidos con seis minas, concentradoras, fundiciones y recicladoras.

Este trabajo busca abordar la problemática ambiental generada por la Empresa por las operaciones y procesos de fundición, refinación de concentrados de cobre, plomo y Zinc y que presenta un problema grave de contaminación ambiental sobre el pueblo de La Oroya.

Así mismo se hace un análisis de su PAMA, la misma que el gobierno le ha dado una prórroga de tres años hasta el 2009.

En marzo de 1995 y en concordancia con la normatividad ambiental, Centromin Perú, propietaria del complejo metalúrgico, presentó la Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP).

En agosto de 1996, habiendo absuelto las observaciones presentadas en el EVAP, se definió y aprobó el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

El PAMA del Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) de Centromin Perú S.A. fue aprobado por Resolución Directoral (RD) N° 017-97 – EM/DGM del 13 de enero de 1997 para su ejecución con una inversión de US \$ 129'125 000 en un plazo de 10 años (1997 – 2007).

Posteriormente dicho PAMA fue modificado a través de la RD N° 325-97 EM/DGM del 06 de octubre de 1997 en la que se estableció el mismo plazo de ejecución e incremento de la inversión en US \$ 131'742 000.

Por razones de la privatización el PAMA del CMLO llegó a dividirse a través de la RD N° 334-97-EM/DGM del 16 de octubre de 1997 con proyectos ambientales a ser implementados por Centromin Perú S.A con una inversión de US\$ 24' 167 000 en un periodo de 09 años y por METALOROYA S.A. con una Inversión de US\$ 107' 575 000 en un periodo de 10 años (vence enero del 2007).

Una vez privatizada METALOROYA S.A. fue absorbida por Doe Run Perú (DRP) quien asume la ejecución del PAMA del CMLO.

Posteriormente DRP solicitó reprogramar tres modificatorias al PAMA, siendo la última aprobada mediante RD N° 28-2002-M/DGAA del 25

de enero del 2002, en la que se estableció un incremento de la inversión de US \$ 173' 953 000 para la ejecución de 09 proyectos de mitigación en el mismo plazo establecido inicialmente (1997 - 2007).

DRP en concordancia al DS Nº 04 – 2004 – EM solicitó la prórroga excepcional del plazo para ejecutar uno de los nueve proyectos establecidos en el PAMA correspondiente a "Planta de ácido sulfúrico" cuyo plazo de ejecución de acuerdo a su PAMA aprobado finaliza en enero del 2007.

#### **OBJETIVOS DE LA PRORROGA**

- Repotenciación de la Planta de ácido sulfúrico existente de 60 000 TM/año del circuito de Zinc. Plazo: 13/01/2007
- Nueva Planta de ácido Sulfúrico de 115 000 TM/año para la Fundición de Plomo. Plazo: 20/12/2008
- Nueva Planta de ácido Sulfúrico de 200 000 TM/año para la Fundición de Cobre. Plazo: 13/01/2011

Luego que el MEM hiciera 90 observaciones a su solicitud de prórroga y de recibir la respuesta por parte de DRP, la solicitud de la prórroga del PAMA se le otorgó el 30 – 05 – 2006, por tres años (2006 - 2009) pero con una serie de requisitos que deberá cumplir estrictamente en el plazo fijado como:

- El estado le hará suscribir a DRP un contrato de fideicomiso que cubra el 100% de todas las obligaciones que se ha comprometido entre el 2007 al 2009.
- Deberá entregar una carta fianza por el valor del 20% de la inversión durante el tiempo de la prórroga
- La construcción de las tres plantas de ácido sulfúrico antes de octubre del 2009

Es el PAMA el que rige la política ambiental y las obligaciones que en esta materia tiene la empresa que opera en La Oroya por un período de diez años.

En ella se describe los componentes ambientales en la zona de operaciones, el perfil de la unidad productiva, el plan de medidas de mitigación, cierre y el monitoreo de emisiones y efluentes.

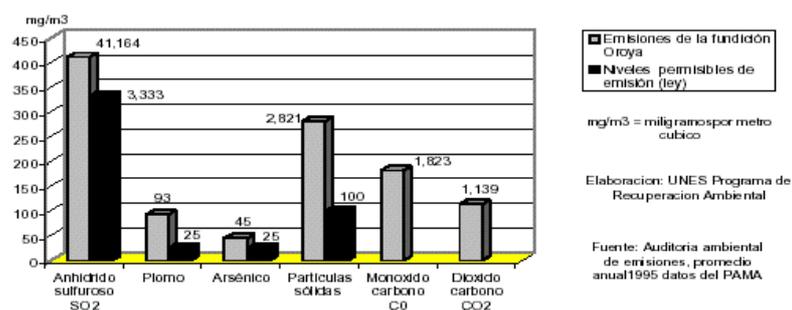
La información presentada en el PAMA evidencia la gravedad de la situación ambiental en La Oroya como consecuencia de las operaciones metalúrgicas y que es necesario enfrentar.

Por ejemplo en el caso de los efluentes líquidos tenemos que los Sólidos Suspendidos (SS) llegan a 163,71 mg/l, cantidad que triplica el valor promedio de las leyes peruanas.

La situación es de extrema gravedad en el caso del plomo, cobre, zinc, hierro y arsénico. Esto nos permite deducir la toxicidad de las aguas del río Mantaro.

El principal contaminante atmosférico es el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>). La descarga es de 899,8 toneladas por día, evacuándose el 91,6% de este gas por la chimenea principal y utilizándose únicamente el 8,4% para la producción de ácido sulfúrico.

EMISIONES ATMOSFERICAS DE LA FUNDICION DE LA OROYA Y LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE GASES Y PARTICULAS



Los límites máximos permisibles para la calidad del aire son ampliamente superados en el caso del plomo y del anhídrido sulfuroso.

Para el caso del arsénico y el cadmio, no existen niveles máximos permisibles de calidad del aire.

Los límites máximos permisibles para la calidad del aire son ampliamente superados en el caso del plomo y del anhídrido sulfuroso.

Para el caso del arsénico y el cadmio, no existen niveles máximos permisibles de calidad del aire.

problemática ambiental en La Oroya, hay aspectos prioritarios que no han sido tomados en cuenta.

La construcción de la planta de ácido sulfúrico, como medida para contrarrestar las emisiones de gases tóxicos.

Se proponen comenzar a implementar a partir del año 2006 para que pueda operar en el 2008 y el 2011. Se prolonga innecesariamente uno de los aspectos cruciales que es la reducción de los gases sulfurosos (SO<sub>2</sub>)

Implica además, posponer una inversión de más de US\$112 millones en la construcción de una planta para tal fin.

En el PAMA no ha sido considerado planes de contingencias que son imprescindibles en operaciones como las de La Oroya ante la eventualidad de fugas de humos y gases tóxicos que pueden producirse en cualquier momento.

No ha sido tomada en cuenta la necesidad de informar, orientar y capacitar a la población desde la empresa sobre posibles emergencias.

Los residuos tóxicos o basura industrial que se genera en la planta no han tenido hasta la fecha un manejo adecuado ni el tratamiento que se requiere: el encapsulamiento de estos residuos debería ser especificado en los planes a implementarse.

Los depósitos de trióxidos de arsénico de Malpaso, deberían ajustarse estrictamente a las normas internacionales de manejo de desechos tóxicos.

Finalmente en lo que se refiere al plan de cierre del complejo metalúrgico las propuestas son bastante genéricas:

- No se han especificado los mecanismos como se implementarían la remoción de las instalaciones existentes
- Las secuelas de las fuentes de contaminación
- Recuperación de las áreas afectadas y otro tipo de acciones complementarias.

#### **ALGUNOS PROCESOS ALTERNATIVOS A CONSIDERAR**

No hay procesos de recuperación ambiental efectivos, sin la participación activa y el involucramiento de los principales implicados y la participación decidida de todos los sectores gubernamentales, ONGs, universidades. Sólo eso permitirá elaborar una propuesta de gestión ambiental alternativa, que incorpore aspectos técnicos y sociales para La Oroya.

Algunas tareas a realizar:

- Implementar talleres de planeamiento estratégico con la población afectada
- Elaborar diagnósticos de salud, especialmente en niños
- Identificar problemas ambientales
- Realizar acciones de control ambiental mitigación, recuperación y prevención

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- La decisión del gobierno de prorrogar el PAMA por tres años sienta un precedente para otras empresas.
- Lo destacable es que el MEM ha llevado este proceso de una manera más rigurosa y estricta debida a la participación de la sociedad civil
- La empresa tendrá hasta octubre del 2009 para cumplir con la construcción de 3 plantas de ácido sulfúrico
- DRP deberá firmar un contrato de fideicomiso que cubra el 100% de todas sus obligaciones
- DRP deberá entregar una carta fianza por el valor del 20% de la inversión por el período de prórroga (2006 -2009)
- El MEM deberá supervisar el estricto cumplimiento de los compromisos asumidos por la empresa
- La determinación del MEM para prorrogar el PAMA toma en cuenta diversos aspectos de índole social, ambiental, legal, económico y financiero
- El MEM con las 90 observaciones hechas a DRP, busca proteger la salud, seguridad y empleo de la población de La Oroya
- Doe Run Perú deberá cumplir a cabalidad con todas y cada una de las obligaciones dispuestas por la Autoridad Ministerial.

## TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN GUATEMALA

Gladis Menchu  
Guatemala

---

Alrededor de 1945, cuando se introdujo la idea del desarrollo (Cardoso, 1985), un nuevo paradigma comenzó a gestarse, se basaba sus expectativas en procesos de formación de capital y varios factores asociados tales como: tecnología, población, políticas monetarias y fiscales, industrialización y desarrollo de la agricultura, comercio e intercambio. Hoy visto en retrospectiva, se observa que la tecnología no sólo ha contribuido a mantener y mejorar la vida como la conocemos actualmente, pero que su aplicación ha generado efectos colaterales en el planeta, que se han convertido en la preocupación que ha pasado de ser la voz de grupos de protesta, a la ocupación y preocupación de organismos internacionales tales como el Consejo Internacional para el Cambio Climático o el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Ejemplos como lo ocurrido en Minamata, Japón, han puesto de manifiesto que no se puede producir, sin considerar los desechos que tal actividad genera, se ha llegado a pensar que para los países catalogados como "tercer mundistas", se les debe acompañar en su proceso de desarrollo tomando la experiencia de los países hoy industrializados. Experiencias que dan cuenta de lecciones aprendidas en relación a los efectos de llevar a cabo actividades productivas, sin considerar el daño a los ecosistemas en su totalidad. Se pueden mencionar casos como el uso de plaguicidas, la producción de energía de fuentes atómicas (Chernobyl y Three Mile Island) o el transporte de carga por el océano (derrames como el del Prestige o el Exxon Valdez). Se espera de los países en desarrollo que no sólo solucionen los problemas de pobreza, sino también de polución derivados de las actividades que tiendan a sacar a los países del así llamado sub desarrollo.

La frase "desarrollo sostenible" se ha vuelto la bandera de la mayoría de proyectos, es una muleta en la que se apoyan para justificar su existencia, sin embargo, ¿cómo lograr que se materialice la definición dada para desarrollo sostenible? Hoy día, se discute la definición misma, y se ha dado lugar a diferentes interpretaciones. En Guatemala, se definió el desarrollo sostenible como "**Proceso que busca garantizar un cambio progresivo y positivo en la calidad de vida de la sociedad guatemalteca, mediante la generación de condiciones que estimulen el crecimiento económico, la transformación de los métodos y patrones de producción y consumo, sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas nacionales, respetando los rasgos multiétnicos, pluriculturales y multilingües de Guatemala y asegurando la equidad social y la participación ciudadana en la**

**toma de decisiones, así como el mantenimiento de por lo menos estas opciones para las generaciones futuras**" (URL, 2004). Entonces ¿qué hacer con prácticas que se han venido dando por generaciones y que hoy día se identifican como no adecuadas? En este sentido, por ejemplo en Guatemala, es muy común la práctica de la roza (quema de la vegetación) antes de sembrar, se dice que no debe hacerse pero ¿Cómo educar y ofrecer alternativas ambientalmente compatibles y que no reduzcan la capacidad de producción?

La tarea de concretar las expectativas del desarrollo sostenible puede enfocarse desde el normar las actividades productivas, establecer incentivos o penas, apostar por modelos de conservación pura o buscar formas de producción ambientalmente compatibles. Es aquí donde se encuentra el concepto de producción más limpia, la cual se define como: **"Es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a procesos, productos y servicios para incrementar la eficiencia en general, y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente"**. Producción más Limpia puede ser aplicada a los procesos utilizados en cualquier industria, a los productos mismos y a varios servicios ofrecidos en la sociedad. Para los procesos de producción, Producción más Limpia resulta de una medida, o la combinación de varias de ellas, que conserva materias primas, agua y energía; elimina materiales tóxicos y peligrosos; y reduce la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos en la fuente durante el proceso de producción. Para los productos, la Producción más Limpia se enfoca en reducir los impactos ambientales, a la salud y a la seguridad de los productos a través de los ciclos de vida completos, desde la extracción de materia prima, pasando por el proceso de manufactura y uso, hasta la disposición final del producto. Para los servicios, la Producción más Limpia implica la incorporación de las preocupaciones ambientales dentro del diseño y prestación de los servicios" (Centro de Producción Más Limpia de Guatemala, 2006).

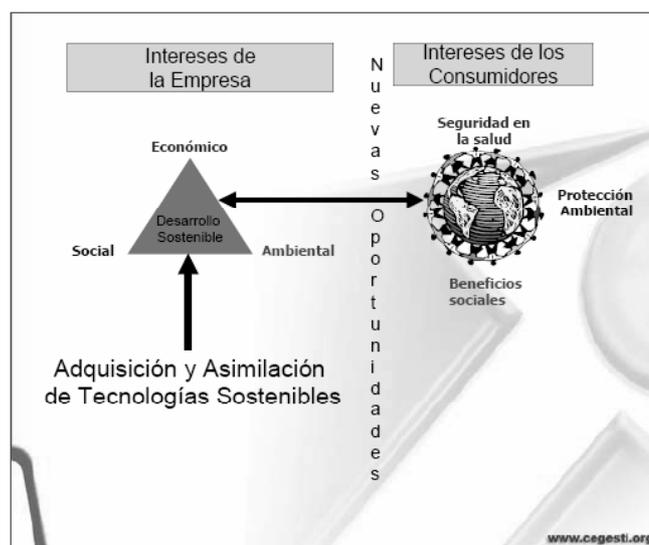
Al estar íntimamente relacionadas las actividades de producción con la tecnología que se utiliza en el aprovechamiento y transformación de los recursos, es importante pensar en el uso de "tecnologías limpias". La tecnología es un conjunto de procesos, métodos, técnicas, procedimientos, capacidades y conocimientos organizados -- incorporados en personas, sistemas, equipos y procesos; almacenados en las más diversas formas (documentos, bases de datos, manuales de ingeniería, planos, procedimientos, guías, etc.), obtenidas de las más diversas fuentes (proveedores de equipos y procesos, tecnólogos, firmas de ingeniería, centros tecnológicos, revistas científicas y tecnológicas, manuales, libros, patentes, ferias comerciales y tecnológicas, etc.), mediante el uso de diferentes métodos (investigación y desarrollo tecnológico, licenciamiento, compra, adaptación, ingeniería inversa, contratación de expertos, copia, etc.); y que puede servir para generar o mejorar procesos, productos, equipos y herramientas para la comercialización de bienes y servicios.

Desde este enfoque, el objetivo de los cambios tecnológicos promovidos en los programas de producción más limpia deberían de conducir a que las empresas mejoren su desempeño en los mercados, estableciendo un vínculo muy directo entre inversión en tecnologías más sostenibles y el mejoramiento del desempeño del negocio, incrementando la competitividad de las empresas que trabajan con el enfoque de producción más limpia.

De acuerdo a la definición de Edward Roberts, "la gestión de la innovación tecnológica es la organización y dirección de los recursos, tanto humanos como económicos, con el fin de aumentar la creación de nuevos conocimientos; la generación de ideas técnicas que permitan obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar las ya existentes."

Para lograr lo anterior, en los programas de producción más limpia se necesitan introducir tecnologías sostenible disponibles en empresas, centros de investigación y desarrollo, universidades y firmas de consultoría, entre otras, o bien generar nuevas tecnologías con sus propios recursos, que conlleven a mejorar el desempeño ambiental y económico de los productos y procesos.

En la introducción de nuevas tecnologías menos contaminantes en las empresas se debe lograr que la estrategia de mejora del desempeño ambiental conduzca a una mejora en el desempeño competitivo del negocio, mediante productos y procesos innovadores. Tal y como se muestra en la figura No 1, los intereses de los consumidores por productos que cuiden de la seguridad en la salud, protejan el medio ambiente y conduzcan a beneficios sociales, conlleva a nuevas oportunidades de productos y servicios sostenibles, que a su vez demanda de las empresas cambios en la forma como hacen sus negocios y por su supuesto en las tecnologías utilizadas para su producción o prestación de servicios (PROARCA).



Fuente: PROARCA

**Figura 1 - Relación entre tecnología, innovación y sostenibilidad.**

Según el informe de PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) al evaluar el estado de los programas de producción más limpia, para el 2002 en América Latina y El Caribe se menciona que en la región se han reforzado los programas de producción más limpia enfocado al intercambio comercial, con fuerte apoyo de organizaciones no gubernamentales y de países amigos (Estados Unidos, Austria, Holanda y Suiza).

Los centros de producción más limpia han sido exitosos en promover la prevención de la contaminación en la región, y en países tales como Chile y Cuba, la minimización de desechos ha sido el tema principal de las actividades de estos centros. La agricultura y la agro - industria siguen siendo actividades importantes en la región y por lo mismo revisten importancia para los centros de producción más limpia. El procesamiento de alimentos (Costa Rica, Cuba y El Salvador), textiles (Costa Rica) y el cuero (Colombia y El Salvador), son sectores muy importantes como componentes de la economía de la región. Mientras la agricultura y el turismo son también opciones en muchos de los países latinoamericanos, la actividades de manufactura siguen siendo el objetivo de los centros de producción más limpia.

Hasta el momento de la redacción del informe del PNUMA (2002), las actividades de producción más limpia dependían de donaciones internacionales, identificándose como principales donantes (ya sea

financiera o tecnológicamente) al Banco Mundial, gobierno de Canadá, USAID (The United States Agency for International Development) y gobierno de Suiza, entre otros.

Seminarios, conferencias, etc. se han llevado a cabo para dar a conocer estos mecanismos, y se ha facilitado el intercambio de información y tecnologías en la región.

Entre los países que han desarrollado acciones políticas para reforzar la producción más limpia se pueden mencionar Chile, Colombia, Costa Rica y Argentina.

Para el caso de Guatemala, la política de ambiente, a cargo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), contiene algunos conceptos de producción más limpia, y según el Centro de Producción más Limpia guatemalteco, ya se han dado casos exitosos en la aplicación de estos principios en las áreas de caficultura, turismo y servicios.

Sin embargo, después de revisar el documento del PNUMA, se concluye que en la lista de casos exitosos, no aparecen los sectores de minería e hidrocarburos. Para el caso de México, se tiene que la empresa mexicana de petróleo (PEMEX), se incluye como un caso exitoso de aplicación de tecnologías limpias. Para Argentina, se tiene que la Secretaría de Industria, Comercio y Minería, se incluye como ente coadyuvante en llevar a cabo el desarrollo de una política de desarrollo sustentable. Colombia publica por medio de la Autoridad Nacional del Ambiente una guía para llevar a cabo aprovechamientos mineros basados en principios de producción más limpia. Al parecer, las actividades extractivas de recursos no renovables aún no entran en el marco de producir, sin destruir totalmente, como un denominador común.

En el caso de Guatemala, la industria petrolera cuenta con cierta experiencia, pero no se cataloga como una industria que esté llevando a cabo procesos de producción más limpia, aún cuando se ha notado cierta preocupación por proteger el entorno en el que desarrolla sus actividades, siguiendo guías y estándares internacionales de protección ambiental, máxime cuando se encuentra vecina a áreas declaradas protegidas, con diversas categorías de manejo.

Para el caso minero – metalúrgico, Guatemala cuenta con cierta historia minera, pero que no ha sido significativa en las cuentas nacionales en el pasado. Ya en el recién iniciado siglo veintiuno, apenas cuenta con un derecho minero que lleva algunos meses operando una mina de plata – oro con su respectiva fundición. La actividad minera en su mayoría, se realiza de forma mecanizada y por pequeños mineros para minerales no metálicos, y aunque se intenta llevar un control ambiental, falta camino por recorrer, ya que hasta no hace mucho tiempo, se ha considerado como tema no prioritario en la agenda política.

Sin embargo, este es un momento propicio para iniciar a poner en marcha principios de producción más limpia, ya que existen movimientos contrarios en el país a la actividad minera, por considerarla muy contaminante y poco beneficiosa para las poblaciones. Claro está que estos movimientos no han cobrado conciencia de lo importante que la actividad minera es en nuestros días, pero que debe ser llevada a cabo con conciencia ambiental, lo cual no es fácil ni barato. Con una reforma inminente a la Ley de Minería, y el actual clima de conciencia social de protección de los recursos naturales (actualmente el 29.3% del territorio nacional está declarado como área protegida para conservar ecosistemas naturales, proteger bellezas escénicas, rasgos culturales o para proteger vegetación o fauna silvestre), es el momento justo para que se adopten políticas que conlleven en sus líneas estratégicas los principios de aplicación de tecnologías y de producción más limpia.

#### **FUENTES**

- ♦ Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, <http://www.cgpl.org.gt/portal/>
- ♦ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **CP Global Status 2002 Report.** Disponible en <http://www.unep.org/pc/cp/reportspdf/qs8.pdf>
- ♦ Centro de Eficiencia Tecnológica, Centro Nacional de Producción Más Limpia. **Guía de Producción Más Limpia.** Lima, 2005.
- ♦ ANAM (AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE). **Guía de prevención de la contaminación del recurso hídrico, caracterización y tratamiento de aguas residuales para el sector de minerales no metálicos.**
- ♦ PROARCA/SIGMA, Centro de Gestión Tecnológica. **Manual de transferencia y adquisición de tecnologías ambientalmente amigables.**
- ♦ Universidad Rafael Landívar (URL). **Perfil Ambiental de Guatemala.** Guatemala, 2004.
- ♦ Cardoso, Fernando H. y Faletto, Enzo (1985). **Dependencia y Desarrollo en América Latina. Cap II. Análisis Integrado del Desarrollo.** Ed. Siglo XXI. México, D.F. Pp 11 - 38

# Capítulo 6

**Petróleo e Gás**  
**Petróleo y Gas**

---

## **LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO EN CUBA: MEJORAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA EN EL PAÍS**

*Marlene García, Orestes Sardiñas y Marlén Palet*  
Instituto de Geografía Tropical - Cuba  
[marleng@geotech.cu](mailto:marleng@geotech.cu)

---

La producción más limpia (PML) es el modo más eficiente de operar los procesos, producir productos y proveer servicios. Su objetivo es, en primer lugar, evitar la generación de la contaminación, lo que reduce los costos, los riesgos e identifica nuevas oportunidades (ONUDI, 2003). La misma fuente afirma que *"...La PML es sostenible sólo si se dispone de la capacidad de asumirla y ajustarla a las condiciones locales"*. Asimismo, a partir del año 1994 comienzan a establecerse Centros Nacionales de Producción más Limpia (CNP+L).

A resultas de lo anterior, Cuba constituye uno de los puntos focales de la Red Nacional de Producción más Limpia, del Programa de Centros y Redes de Producción Más Limpia de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, op. cit.), que abarca más de 20 países. De este modo se inserta en el ámbito internacional la Red Nacional para la Producción más Limpia (RNP+L) creada en el año 1999 a través del Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) con el objetivo de impulsar los programas y acciones nacionales que permitan la introducción de las prácticas de producción más limpia en la industria cubana. En el orden práctico una de sus principales funciones es promover la PML mostrando la factibilidad y necesidad de su aplicación en el sector productivo y de servicios del país.

En la creación del RNP+L fue decisiva la cooperación de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe (ORPALC) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), además de la ONUDI. De este modo se advierte cómo diversos organismos han brindado respuesta a preocupaciones muy diversas sobre como promover la adopción de tecnologías de producción más limpia en la geografía latinoamericana y caribeña. Otras tareas de sensibilización se ejecutan para prevenir y mitigar los accidentes industriales mediante el proceso de concienciación y preparación para emergencias a nivel local (programa APELL<sup>1</sup>), además de proporcionar capacitación acerca de los sistemas para controlar la contaminación industrial.

Los esfuerzos desarrollados por difundir el concepto de PML en talleres, se hacen palpables en el país con evaluaciones en planta, con el propósito de identificar los diversos problemas en los flujos de producción

---

<sup>1</sup> Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level, A Process for Responding to Technological Accidents, UNEP, 1988.

con la adopción de distintas medidas, en su mayoría sin costo alguno, en pos de elevar la eficiencia del flujo de producción, con su correspondiente disminución de residuos tanto sólidos como líquidos (Terry et al., 2003). En el ámbito productivo un elocuente ejemplo lo constituye el caso de la Fábrica de levadura *Torula* (sita en Ciego de Ávila), en la que, luego de implementar los pasos previstos en la metodología de PML, se obtuvo un ahorro de 5.000.000 de pesos y más de 25.000 dólares (Lorenzo, 2004).

La introducción de este nuevo enfoque no ha sido ajeno a la actividad turística, como ha sucedido en el Hotel *Mayanabo* (provincia de Camagüey), donde en una auditoria de producciones limpias los problemas identificados se localizaron en el consumo de energía en la caldera y una elevada generación de gases a la atmósfera para cuya solución se recomendó la instalación de módulos de colectores solares para el calentamiento de agua y la no generación de gases a la atmósfera (Terry et al., op. cit.). Para una mejora continua en las prácticas ambientales de otra instalación turística (Hotel *Horizontes Blau Arenal*, en el municipio Habana del Este (provincia Ciudad de la Habana) se otorgó, previo estudio de factibilidad, una licencia ambiental a las calderas lográndose reducir las emisiones al aire por tal concepto (IGT, 2002).

Se ha incursionado en la actividad petrolera donde los ejemplos han estado dirigidos a la búsqueda de mejoras en los procesos productivos a partir de tecnologías más sanas y seguras y amigables con el medio ambiente, lo cual constituye un imperativo al cual han dado respuesta algunas empresas ubicadas en el país. Todo ello ha posibilitado la utilización del gas acompañante en la generación de electricidad, disminuyendo las emisiones a la atmósfera, produciendo de una manera más barata y eficiente, y generando subproductos como el azufre, la nafta y el gas licuado.

#### **CUBA: POTENCIALIDADES EN LA INDUSTRIA PETROLERA.**

Ante la coyuntura internacional que combina los altos precios del petróleo mundial con los efectos siempre presentes del bloqueo económico norteamericano a Cuba, es una estrategia claramente definida la utilización del crudo nacional en la generación de energía en la Isla, de manera que disminuya la dependencia externa y asegure en cierta medida la invulnerabilidad económica del país.

De esta manera, y a partir de la participación extranjera en la prospección y explotación de petróleo en Cuba, han ido incrementándose los volúmenes en la extracción de petróleo y gas natural, alcanzando montos del orden de los siguientes:

**Tabla 1 - Extracción de petróleo crudo y de gas natural**

	UM	1989	1990	1993	1994	1995	2001	2002	2003
<b>Petróleo crudo (a)</b>	Mt	718,4	670,9	1.107,6	1.298,8	1.470,8	2.773,4	3.533,4	3.609,0
<b>Gas natural</b>	MMm <sup>3</sup>	33,6	33,7	23,0	19,8	17,3	594,6	584,7	658,0

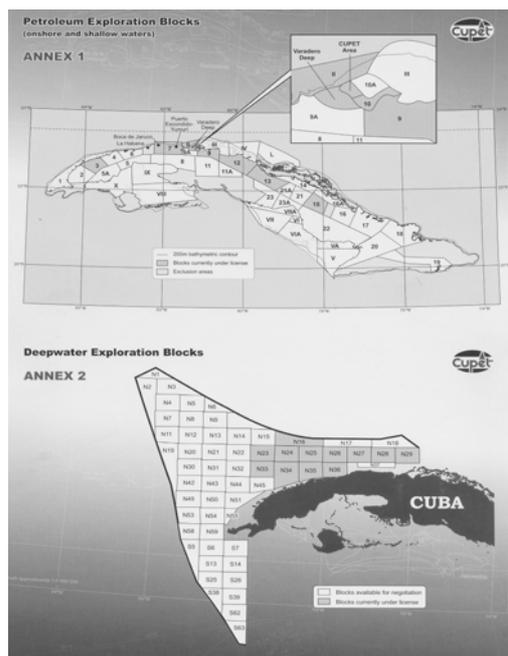
Fuente: Anuario Estadístico de Cuba. Año 2003.

(a) A partir de 1997 se excluyen las mezclas de otros derivados que se agregan al petróleo para disminuir su viscosidad.

Los antecedentes de la explotación de hidrocarburos en Cuba, datan de fecha tan lejana como 1881, cuando un campo de nafta natural fue descubierto en Motembo, en la parte central de la Isla. Con posterioridad, fueron explorados de manera limitada algunos campos durante la segunda mitad del siglo XX, por parte de compañías americanas que no potenciaron la explotación a mayor escala. Con la nacionalización de la industria del petróleo en 1960, la exploración y explotación del crudo adquiere algo más de relevancia, a partir del interés estatal y de la participación de la extinta Unión Soviética con tecnología y personal a cargo. No obstante, los volúmenes producidos fueron limitados en esa etapa, y las actividades se centraron mayormente en la localidad habanera de Guanabo, y otras como Cárdenas, Varadero y el centro del país.

A partir de la década de los años 90, y como parte de la nueva estrategia económica adoptada por el país ante el derrumbe del campo socialista, se incentiva la participación extranjera en la exploración y explotación de petróleo y gas en Cuba, alcanzando valores récord que rondan los 65 000 BOPD y los 70 millones de m<sup>3</sup> al día. De esos totales, un 30 % es asumido por la entidad nacional CUPET, y el resto por compañías extranjeras, lo cual da un medida de la importancia de la inversión foránea en la actividad de hidrocarburos en Cuba (CUPET, 2005).

La exploración no solamente ha abarcado áreas terrestres y costeras, sino que ha abarcado incluso la exploración en aguas profundas de la Zona Económica Exclusiva de Cuba, donde algunos bloques han sido otorgados bajo licencia (Fig. Anexo 2). La primera perforación en aguas profundas se realizó en el año 2004, obteniéndose signos positivos de presencia de hidrocarburos.



Actualmente los principales resultados se obtienen en la denominada North Cuban Oil Belt, donde se encuentran los campos de Boca de Jaruco, Puerto Escondido-Yumurí y Varadero (Anexo 1). En el año 2004 se localizó en Santa Cruz del Norte el hallazgo más prometedor a partir de la perforación de un pozo que arrojó petróleo de una mayor calidad (CUPET, 2005).

El gran inconveniente del petróleo cubano viene dado, desde un punto de vista medioambiental, por su alta viscosidad y contenido de azufre, lo cual unido a las tecnologías extractivas utilizadas, provoca en las

emisiones un alto contenido de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Esto presupone en las áreas cercanas a los pozos un deterioro de la calidad del aire, y por supuesto incidencias directas en fenómenos como la ocurrencia de lluvias ácidas.

Por otra parte los grandes volúmenes de gas acompañante resulta otra de las características de la producción de petróleo en Cuba. Este recurso, que no se utilizaba y era quemado y enviado a la atmósfera, representaba por ejemplo, volúmenes del orden de los 1,235, 000  $\text{m}^3$  al día tan sólo en el campo de Canasí, una de las áreas de explotación gasopetrolífera enclavadas en el litoral habanero (Sardiñas, O.2004).

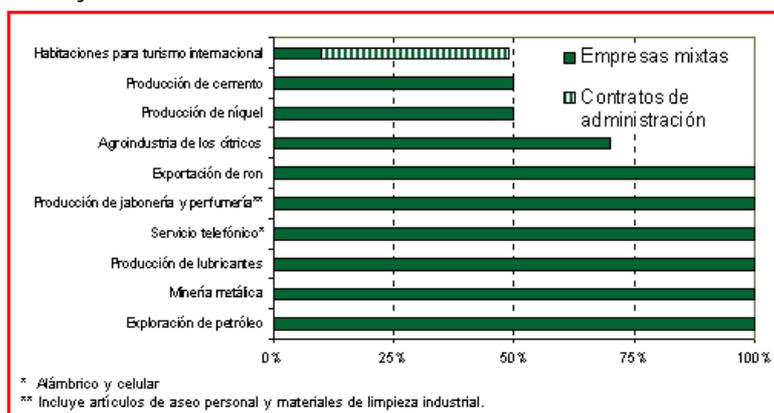
La inversión extranjera directa en Cuba está orientada a la búsqueda de los nuevos mercados exteriores, tecnologías competitivas y capital. Para fomentar su crecimiento y desarrollo en el año 1995 se aprueba una nueva legislación para la inversión extranjera (Ley No 77), que se corresponde con las tendencias internacionales.

A los atractivos del marco legal se suman como ventajas comparativas de Cuba: la disponibilidad de fuerza de trabajo calificada en condiciones de asimilar nuevas tecnologías en el corto plazo, de una infraestructura adecuada en que se destaca un 95% de electrificación del territorio, estabilidad social, clima de seguridad que se ofrece al personal

extranjero, la perspectiva de integración de Cuba a la región, su ubicación geográfica en el centro de un mercado de expansión y de importantes rutas comerciales, y la suscripción de Acuerdos de Promoción y Protección Recíproca de Inversiones con 53 países y de 7 acuerdos para evitar la doble tributación.

A fines del año 2000 habían 392 asociaciones económicas con capital extranjero, ubicadas en su mayor parte en minería, prospección-extracción de petróleo, turismo, industria (ligera, alimentaria y sideromecánica) y construcción. En los últimos años se han incorporado nuevas ramas a la inversión extranjera, entre las que se encuentran la industria energética, del gas, sector financiero, comercialización de tabacos y la gestión del suministro de agua a la ciudad, también se han aprobado importantes negocios para el desarrollo hotelero, la industria del cemento, la aviación civil e industrias para fabricación de pinturas y ómnibus.

El énfasis gubernamental estuvo dirigido en sus inicios a lograr un mayor aprovechamiento de las capacidades ociosas y de los recursos disponibles, así como a la prospección y extracción de petróleo y recursos minerales, posteriormente se amplía su accionar al sector servicios, y se incursiona en modalidades de prefinanciamientos como los aplicados en la agricultura cañera, y no cañera o sea, paulatinamente esta presencia quedó abierta a la planta física industrial, infraestructura material y fuerza de trabajo calificada.



Fuente: (P,Villanueva). La inversión extranjera directa en Cuba. Peculiaridades. Año 2003.

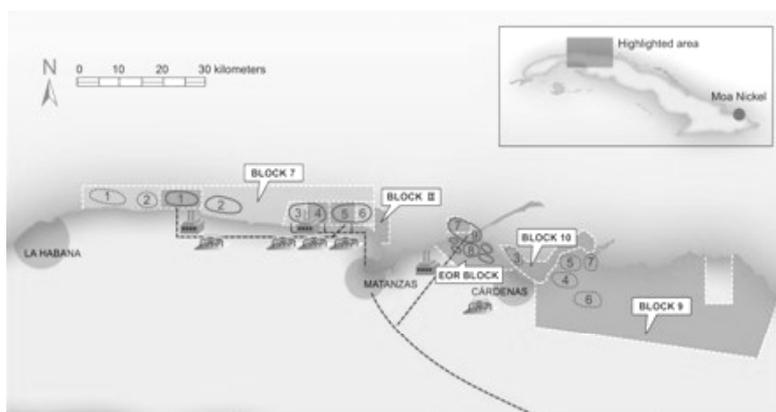
**Figura 2 - Participación de las empresas mixtas y los contratos de administración en actividades seleccionadas (en %)**

Hay intereses de firmas extranjeras en la búsqueda y explotación de petróleo, para eso se ha dividido el país en 32 bloques, donde se han firmado contratos a riesgo de prospección y exploración para 14 bloques en

tierra y 4 offshore, cubriendo un área de 63 000 Km<sup>2</sup>. Aquí participan compañías de Canadá, Francia, Reino Unido y Suecia. Los contratos de exploración compartida está representada por una Asociación Económica con Capital Extranjero (AECE) entre Cubapetróleo y el socio extranjero.

### **LA ACTIVIDAD ENERGÉTICA. EJEMPLO DE MEJORAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA ENERGÁS EN LA PROVINCIA DE MATANZAS**

La provincia de Matanzas posee un elevado potencial económico que la ubica entre los territorios más ricos y productivos de Cuba. Los sectores que más aportan a la economía son: la Industria, el Turismo, el sector Agropecuario, la Construcción, el Transporte y las Comunicaciones.



Fuente: Cupet.2005

**Figura 3 - Actividad petrolera en el norte de las provincias La Habana y Matanzas**

Respecto a la actividad industrial se destaca en primer lugar la extracción gasopetrolera (Fig 3), también la industria azucarera, la industria eléctrica, la industria química y la ligera.

Esta provincia posee los yacimientos petroleros más importantes de Cuba hasta el presente, ubicados en la costa norte, alrededor de las bahías de Cárdenas y de Matanzas, donde se extrae más del 60% del crudo nacional.

Para aprovechar los gases acompañantes de los pozos se construyó, entre Cárdenas y Varadero, la Planta ENERGAS, que aporta al sistema electro energético cubano cerca de 170 megawatts, en la actualidad con un acumulado de 814865.7 mkwh.

Asociada a la producción de crudos del territorio y de la limítrofe provincia de La Habana, la Empresa de Petróleo de la provincia de Matanzas, que opera en la Base de Supertanqueros de la bahía yumurina, es la única en el país, y a través de la cual se trasiega y procesa todo el crudo local y la mayor parte del combustible que importa el país.



**Imágen 1 - Instalaciones de la actividad petrolera en Cuba.  
Año 2005**

El empleo del gas acompañante del petróleo en la generación de electricidad constituye un método rápidamente asimilado y con suficientes logros como para comprobar el éxito de la decisión tomada, razón por la que se ejecutan nuevas inversiones.

Fue en 1998 cuando entró en operaciones la primera máquina del proyecto mixto ENERGÁS, que con tecnología canadiense entrega la energía más barata producida en el país. Se trata de la comunión de tres socios, la Unión Eléctrica que aporta el mercado, la Unión del Petróleo a cargo del suministro del gas y la canadiense SHERRITT, la cual entrega el capital y la tecnología.

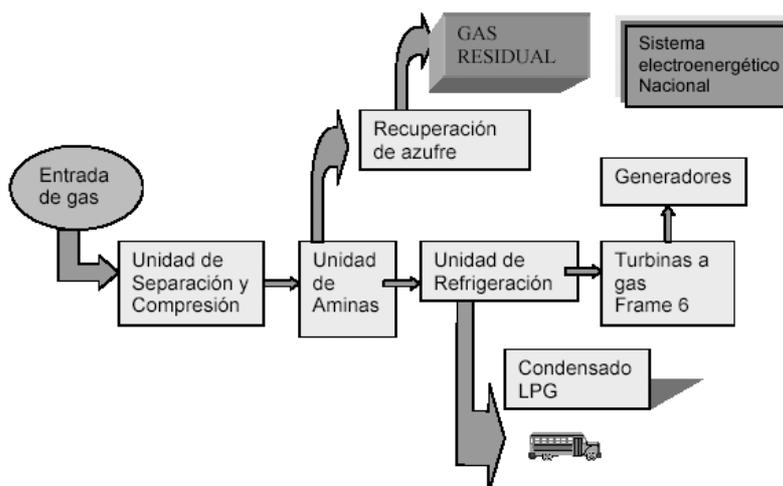
Con el montaje de tres turbogeneradores en una planta del balneario de Varadero y otro en Boca de Jaruco, en la provincia de La Habana, se conformó esta empresa, un proyecto capaz de recuperar el

capital inicial en menos de un lustro, a la cual se ha sumado otra planta ubicada en Puerto Escondido.

La inversión es provechosa desde cualquier ángulo porque además del empleo del gas acompañante del petróleo en la generación de electricidad se obtienen considerables volúmenes de azufre, nafta y gas licuado. La empresa ENERGAS S.A constituida por la compañía Sherrit Power Internacional y la Empresa cubana CUPET, opera en las cercanías de Varadero, municipio Cárdenas, provincia de Matanzas, es una central termoeléctrica a partir del gas acompañante obtenido de la explotación petrolera de los yacimientos petrogasíferos que yacen en el entorno inmediato. Una de sus plantas, Gas Varadero, está diseñada para producir a plena capacidad 185 MW/hora, produce entre 40 y 50 toneladas de azufre líquido, a partir del gas sulfídrico, produce también nafta y gas licuado de petróleo (GLP) para el consumo de la población. Al asimilar altos volúmenes de gas para su tratamiento (desulfuración) y producción de energía eléctrica, azufre, etc, se ha posibilitado el aprovechamiento integral de este recurso, lo cual ha traído como consecuencia el mejoramiento de la calidad del aire en la región.

ENERGÁS tiene el mérito de aprovechar la potencialidad energética que antes se expulsaba a la atmósfera, en función de la generación de electricidad, además de reducir la contaminación del ambiente. Con la incorporación de este modelo de generación de energía se obtiene el beneficio adicional de evitar el vertimiento diario a la atmósfera de hasta casi un centenar de toneladas de azufre.

Desde los inicios se estimó que el suministro del gas natural estaba asegurado, teniendo en cuenta que la disponibilidad de este volátil recurso creció unas 15 veces en relación con los inicios de la última década, es por ello que en su momento se decidió incorporar dos turbinas adicionales en la unidad generadora de Boca de Jaruco con la finalidad de explotar con mayor eficiencia los incrementos de gas natural que se registraban en el yacimiento de la referida región, una de ellas diseñadas para la producción de 33 Mw diarios de electricidad. El sistema tecnológico está constituido por cinco unidades: La de preparación del gas, la unidad de Amina, la de refrigeración y deshidratación, la de fraccionamiento y la de recuperación de azufre, además posee una antorcha (flare de 38 m de altura) destinado a la quema de gas limpio en exceso y el gas rico en sulfhídrico en caso de paradas de la unidad.



**Figura 4 - Flujo Tecnológico de la planta de gas y generación de electricidad**

Las inversiones apuntadas facilitaron que la empresa ENER GAS alcanzara en todas sus plantas en dos años un monto de 400 megawatts, similar a la energía que debía suministrar la central nuclear de Juraguá, en la región sur central del país, cuya obra quedó paralizada por falta de recursos, aprovechando mas de 1 500 000 m3 diarios de gas natural que antes se quemaban y producir a partir de éste la electricidad de mas bajo costo del país.

#### **REFLEXIONES QUE EVIDENCIAN UNA MEJORA CONTINUA EN LA EMPRESA ENER GAS EN LA PROVINCIA DE MATANZAS**

Para tener una idea de lo que se ha ido acometiendo en el país por el concepto de Producción Más Limpia (PML) se puede decir que en el año 2003 se hicieron 45 asesorías técnicas a empresas de diferentes sectores (turístico, energético, perfumería y jabonería, cítricos, alimenticio, poligrafía, entre otros), dejando recomendaciones a las entidades, dirigidas a la mejora de su desempeño ambiental y económico.

La RNPML ha continuado promoviendo la introducción del concepto de Producción Más Limpia (PML) en la gestión ambiental del sector empresarial y se han dado importantes pasos para la inserción del mismo, como estrategia integral preventiva en las políticas y prácticas ambientales vigentes, bajo cuyo liderazgo se desarrollaron entre otras, acciones y actividades dirigidas en lo fundamental a realizar evaluaciones en planta,

capacitar a especialistas de diferentes ramas y divulgar resultados a partir de la programación de talleres en donde una cuota significativa de empresas han sido objeto de estudio.

En los Ministerios de la Industria Alimentaria, de la Industria Azucarera y de la Agricultura se determinaron según evaluaciones en planta en algunas de sus instalaciones 58 medidas de Producción Más Limpia (consistentes en la introducción de buenas prácticas en la gestión productiva, cambios tecnológicos y acciones dirigidas al ahorro de materias primas, agua, insumos de los procesos y portadores energéticos).

Su implementación posibilitó el ahorro de:

- ❖ 250 000 mWh de energía eléctrica y de 40 000 m<sup>3</sup> de agua en el año.
- ❖ reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (238 512 t)
- ❖ reducción de emisiones de carga orgánica a las aguas (36 t, expresadas como DQO).

Asimismo, y no exenta a la política ambiental vigente en el país, la empresa ENERGAS de la provincia de Matanzas mantiene un programa de vigilancia de los niveles de los contaminantes generados, realizando estudios importantes de contaminación atmosférica y haciendo monitoreos de calidad del aire en las diferentes plantas, se han caracterizado algunos de los compuestos como el sulfuro de hidrogeno, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de nitrógeno (NO) y partículas suspendidas totales (PST), además de aplicar modelos físico matemáticos en el análisis de la dispersión de los contaminantes, y analizar las aguas residuales, hidrocarburos y los coliformes totales y/o fecales desde el punto de vista bacteriológico.

Se han disminuido los impactos ambientales por la quema de grandes cantidades del gas acompañante en el área, lo cual ha significado una disminución de casi diez veces la cantidad de azufre expulsada a la atmósfera, aproximadamente de 30 tn/D se expulsan 3.05 ton/D como promedio anual en una de las plantas.

Se realizan estudios del régimen y la calidad de las aguas subterráneas en el área de las instalaciones de las plantas y su zona de influencia con el objetivo de determinar el estado actual de las aguas e identificar los tenores de los contaminantes presentes en las mismas, asociados en mucho de los casos a la actividad antrópica (agricultura intensiva, residuales domésticos, industria azucarera, intrusión salina, vertimiento de hidrocarburos, etc).

En resumen, para el desarrollo de las fuentes de generación eléctrica, Cuba asume una postura más inteligente hacia alternativas más eficientes, acorde con los tiempos actuales, cuando los carburantes

aumentan de precio y el consumo en las sociedades opulentas se hace cada vez más irracional.

### **CONCLUSIONES**

- 1- La inversión extranjera directa en Cuba está orientada a la búsqueda de los nuevos mercados exteriores, tecnologías competitivas y capital. La disponibilidad de fuerza de trabajo calificada en condiciones de asimilar nuevas tecnologías en el corto plazo, de una infraestructura adecuada en que se destaca, la estabilidad social, clima de seguridad que se ofrece al personal extranjero, y la perspectiva de integración de Cuba a la región, entre otros, constituyen atractivos que desde el punto de vista legal parecen ser promisorios.
- 2- En Cuba, la participación extranjera en la prospección y explotación de petróleo ha ido incrementándose alcanzando volúmenes de producción considerables.
- 3- La provincia de Matanzas posee un elevado potencial económico que la ubica entre los territorios más ricos y productivos de Cuba. Respecto a la actividad industrial se destaca en primer lugar la extracción gasopetrolera, también la industria azucarera, la industria eléctrica, la industria química y la ligera.
- 4- Para aprovechar los gases acompañantes de los pozos se construyó, entre Cárdenas y Varadero, la Planta ENERGAS que aporta al sistema electro energético cubano cerca de 170 megawatts, con un acumulado en la actualidad de 814865.7 mkwh.
- 5- Las mejora continua está presente en la empresa ENERGÁS de la provincia de Matanzas toda vez que en su empeño ha tenido el mérito de aprovechar la potencialidad energética que antes se expulsaba a la atmósfera, en función de la generación de electricidad, además de reducir la contaminación del ambiente.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Boletín Trimestral, No.4. Producción Más Limpia (Octubre - Diciembre). Año 2003.
- Cubapetroleo. Industria petrolera en Cuba. Comercial Cupet. Año 2005.
- Ley de Inversión Extranjera. República de Cuba. Editora Política. La Habana, 1995.
- Lorenzo, Y. (2004): Accesorio rápida vinculada con las producciones más limpias en la fábrica de levadura Torula "Alfredo Pérez". Taller de entrenamiento en producciones más limpias. Acuario Nacional de Cuba, La Habana. Inédito.

- Morejón R (2005). Gas acompañante del petróleo en la generación eléctrica en Cuba. Radio Habana Cuba. Año 2005.
- Oficina Nacional de Estadística. Anuarios Estadísticos de Cuba. Varios años. La Habana.
- ONUDI - Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2003): Centros Nacionales para una Producción más Limpia. Folleto, *División de Producción más Limpia y Gestión Ambiental*, Viena, Austria.
- Pérez Villanueva (1998). La inversión extranjera directa y la transferencia de tecnología. La Habana.
- Pérez Villanueva (2003) La inversión extranjera en Cuba. Peculiaridades. La Habana.
- Periódico Granma. "Suscribe Cuba acuerdo con la firma canadiense Sherritt Internacional". Marzo. Año 2005.

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RIESGOS SOCIAL Y AMBIENTAL DE  
GAS NATURAL/GAS LP TENIENDO COMO ESCENARIO UNA COLONIA  
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

*Molinar Ceseña Rafael; Ramírez Meda Walter;  
Villalvazo Naranjo Juan*  
Dpto. de Ingeniería de Proyectos,  
Universidad de Guadalajara, México.  
[u3e@newton.dip.udg.mx](mailto:u3e@newton.dip.udg.mx);  
[wramirez@newton.dip.udg.mx](mailto:wramirez@newton.dip.udg.mx);  
[jvillalv@newton.dip.udg.mx](mailto:jvillalv@newton.dip.udg.mx)

---

**RESUMEN**

Este trabajo tiene como objetivo presentar un estudio comparativo del uso de los combustibles principales utilizados en el país y en casi toda América latina, seleccionando una colonia de la zona metropolitana de Guadalajara, México la cual esta proyectada para la introducción del suministro de gas natural por tuberías domiciliarias y este trabajo pretende fundamentar y aclarar las dudas respecto a la resistencia social y a los beneficios que como producción limpia inducen cada uno de estos sistemas de suministro de energía, así como estudiar los riesgos reales del uso de cada uno de los sistemas energéticos. Concluyendo que en términos sustentables y de producción limpia para las condiciones de vida y desarrollo industrial, el uso del gas natural es menos riesgoso en términos sociales, induce producción limpia, disminuye las emisiones de contaminantes y gases invernadero

**INTRODUCCIÓN**

Los procesos de combustión tienen impactos ambientales principalmente asociados a la contaminación atmosférica. Dichos impactos se derivan de la generación de subproductos contaminantes ya que las combustiones nunca son perfectas, así como a la presencia de impurezas en el combustible, como pudiera ser el azufre. Otra fuente contaminante derivada del uso de combustibles no sólidos son las emisiones fugitivas a la atmósfera.

Así pues, el nivel de impacto ambiental de un combustible va a depender principalmente de su composición, la presencia de impurezas, la eficiencia de su combustión y la eficiencia de los equipos y prácticas para su transferencia. Asimismo, influye la capacidad térmica de los combustibles, ya que a mayor capacidad térmica, hará falta quemar una cantidad menor de combustible para generar la misma energía. Cabe señalar que la eficiencia de la combustión también dependerá de la relación combustible: oxígeno presente; así, una estufa o un motor en mal estado puede generar una combustión contaminante aun con los combustibles más limpios.

En este trabajo se hace una comparación de los impactos ambientales asociados a la combustión del gas natural y el GLP en usos domésticos. El análisis no se adentrará en las características y eficiencias de equipos de combustión (principalmente estufas y boilers domésticos), ya que estos parámetros no variarán según el tipo de combustible que se utilice.

### GASES INVERNADERO

El subproducto más abundante de cualquier combustión es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este producto no es nocivo para la salud, y se encuentra de forma natural. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> (así como otros gases) tiene en la atmósfera un efecto invernadero; es decir, que tienen la propiedad de poder retener la radiación emitida por la tierra. Esta propiedad no sería de preocupación si no fuera por los aumentos indiscriminados en la combustión a nivel mundial que generan emisiones descomunales de dióxido de carbono, lo cual está causando un efecto conocido como el calentamiento global. El aumento en las temperaturas globales debidas al efecto invernadero puede tener serias consecuencias como son el descongelamiento de las capas polares, un aumento en los niveles del mar (inundando zonas bajas), variaciones en las corrientes atmosféricas y marítimas, aumento en la frecuencia de desastres naturales tales como las inundaciones, ciclones y huracanes, reducción en los rendimientos de cultivos, etc.

Actualmente existen esfuerzos para lograr compromisos por parte de la comunidad internacional (pe el Protocolo de Kyoto) con el fin de reducir las emisiones de gases invernadero. Dichos esfuerzos están orientados principalmente a las emisiones de la industria, así como a la minimización en la quema de combustibles más contaminantes, como son el carbón.

**Cuadro No. 1 - Propiedades generales del gas natural y del GLP**

Propiedad	GLP		
	Gas Natural	Butano	Propano
Gas principal	Metano (80-95%)	Butano y propano (95%)	
BTU/ft <sup>3</sup>	1012	3280	2516
ft <sup>3</sup> de aire para quemar 1 ft <sup>3</sup> de combustible	9.53	30.97	23.82

El cuadro No.2 presenta las emisiones típicas resultantes de la combustión de gas natural; la segunda columna presenta las emisiones referidas a la energía desprendida, lo que da una medida relacionada al consumo del combustible. Los cuadros se han adaptado del Compendio de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos (AP-42) de la Agencia Ambiental de los EEUU (Environmental Protection Agency, 1995).

**Cuadro No. 2 - Factores de emisión debidos a la combustión del gas natural**

<b>Componente</b>	<b>Factor de emisión (kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>Factor de emisión (kg/10<sup>9</sup> BTU)</b>
NO <sub>x</sub> (expresado como NO <sub>2</sub> )	1 504 <sup>a</sup> / 1414 <sup>b</sup>	42.08 <sup>a</sup> / 39.56 <sup>b</sup>
CO	640 <sup>a</sup> / 305 <sup>b</sup>	17.91 <sup>a</sup> / 8.54 <sup>b</sup>
CO <sub>2</sub>	1 920 000	53 724
Plomo	0.008	0.0002238
N <sub>2</sub> O	35.2	0.98
Partículas (totales)	122	3.41
SO <sub>2</sub>	9.6	0.269
Compuestos Orgánicos Totales	176	4.92
Metano	37	1.035
COVs	88	2.46

<sup>a</sup> Para quemadores residenciales de <0.3 MMBtu/hr.

<sup>b</sup> Para quemadores comerciales de 0.3-100 MMBtu/hr.

### **EMISIONES DEL Gas LP**

#### **Emisiones derivadas de la combustión**

Los contaminantes típicos de la combustión del GLP son los mismos que los del gas natural, por lo que no se repetirá la descripción de sus diferentes componentes y su origen.

Los factores de emisión para el propano y el butano (los principales componentes del GLP) se presentan a continuación, para el caso de boilers comerciales. Nótese que estos factores de emisión están referidos a un volumen en estado líquido; para poder hacer un análisis comparativo con las emisiones del gas natural es necesario referir los factores de emisión a un volumen en estado gaseoso.

**Cuadro No. 3, Factores de emisión para la combustión de propano y butano referidos a volumen de gas y capacidad térmica.**

Componente	Factor de emisión Butano (g) (kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Factor de emisión Propano (g) (kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Factor de emisión Butano (g) (kg/10 <sup>9</sup> BTU)	Factor de emisión Propano (g) (kg/10 <sup>9</sup> BTU)
NO <sub>x</sub> (expresado como NO <sub>2</sub> )	8081	6994	69.77	78.72
CO	1131	949	9.77	10.68
CO <sub>2</sub> <sup>b</sup>	7 704 023	6 244 845	66 510	70 284
N <sub>2</sub> O	485	450	4.186	5.060
Partículas (filtrables)	269	200	2.325	2.249
SO <sub>2</sub> <sup>a</sup>	48 S	50S	0.419S	0.562S
Compuestos Orgánicos Totales	323	250	2.791	2.811
Metano	108	100	0.930	1.124

<sup>a</sup> S es el contenido de azufre en gr./100 ft<sup>3</sup> de vapor de gas.

<sup>b</sup> asumiendo una conversión del 99.5% del combustible a CO<sub>2</sub>.

### Emisiones fugitivas de GLP

Aparte de las emisiones que se obtienen de la combustión, el uso de combustibles gaseosos también da lugar a emisiones fugitivas a la atmósfera, pe de fugas en tanques estacionarios, fugas en los procesos de conexión y desconexión de mangueras en el suministro a tanques estacionarios, fugas en pilotos de estufas, etc.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) va a llevar a cabo un *Proyecto de Revisión y Eliminación de Fugas Domésticas de Gas Licuado de Petróleo en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Este proyecto ha surgido a raíz de la identificación de las fugas de GLP como una importante fuente contaminante en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), a partir de estudios del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y de la Universidad de California. Dichos estudios han identificado que en la ZMVM se emiten alrededor de 76400 toneladas de GLP; si bien esta cantidad no es realista para la ZMG, los porcentajes de emisión de GLP en diferentes fases de su distribución y uso sí lo son. El cuadro No.4 muestra dichos porcentajes de emisión de GLP.

**Cuadro No. 4 - Porcentajes de emisión de GLP**

<b>Punto de Emisión</b>	<b>% del total emitido</b>
Centro de embarque PEMEX	0.05%
Carga de semirremolques	0.56%
Descarga de semirremolques	0.38%
Almacenamiento en plantas	0.30%
Carga de autotanques	0.64%
Suministro de tanques estacionarios	0.64%
Llenado para carburación	0.73%
Llenado de recipientes portátiles	0.73%
Distribución de recipientes portátiles	10.05%
Fugas en instalaciones industriales	0.02%
Fugas en instalaciones comerciales	0.18%
Fugas en instalaciones domésticas	4.06%
Consumo doméstico	70.57%
Consumo industrial	1.37%
Consumo comercial	3.82%
Consumo agrícola	3.00%
Consumo carburación	2.91%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (2002)

Del cuadro No.4 se puede observar que la mayor parte de las emisiones fugitivas se dan en el consumo doméstico (70.57%), mientras que la distribución de recipientes portátiles también representa un porcentaje considerable (10.05%). El informe del INE pasa a desglosar el origen de las emisiones fugitivas en el consumo doméstico, el cual se muestra en el CuadroNo.5.

**Cuadro No. 5 - Emisiones fugitivas de GLP en uso doméstico**

<b>Punto de Emisión</b>	<b>% del total emitido</b>
Encendido de estufas	1.78%
Encendido de calentadores	0.002%
Pilotos de estufas	50.70%
Pilotos de calentadores	0.002%
Hidrocarburos no quemados en estufas	37.60%
Hidrocarburos no quemados en calentadores	9.92%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Ecología (2002)

Los estudios llevados a cabo por el IMP y la Universidad de California identifican dichas fugas como un componente importante de hidrocarburos para la generación de ozono, especialmente debido a los altos niveles de butano, isobutano, propileno y butilenos que se manejan en las mezclas en México.

Si bien la distribución de gas natural también conlleva fugas, debido a su composición (principalmente metano), éste no representa un riesgo a la salud como contaminante. Por otro lado las emisiones de metano sí contribuyen al efecto invernadero y pueden representar un riesgo de explosión.

#### **COMPARATIVO DE EMISIONES CONTAMINANTES DE GLP Y GAS NATURAL**

En el cuadro No.6 se presenta un comparativo de las emisiones obtenidas con la combustión de gas natural y GLP respectivamente, referidas a las calorías emitidas. Se han tomado los datos referentes a boilers comerciales para ambos combustibles, y para las emisiones de GLP se ha tomado una media entre las emisiones de propano y butano, considerando una mezcla en proporción 60:40.

**Cuadro No. 6 - Comparativo de emisiones debidas a la combustión del gas natural y del GLP**

<b>Componente</b>	<b>GLP Factor de emisión (kg/10<sup>9</sup> BTU)</b>	<b>Gas Natural Factor de emisión (kg/10<sup>9</sup> BTU)</b>
NO <sub>x</sub> (expresado como NO <sub>2</sub> )	75.14	39.56
CO	10.32	8.54
CO <sub>2</sub>	68 774	53 724
N <sub>2</sub> O	4.71	0.98
Compuestos Orgánicos Totales	2.80	4.92
Metano	1.05	1.035

Respecto a las emisiones atmosféricas fugitivas, el GLP hace una contribución importante a la generación de ozono, mientras que el gas natural no contribuye a ello.

#### **CONCLUSIONES REFERENTES A LA CONTAMINACIÓN GENERADA**

En términos de generación de contaminantes por unidad de volumen quemada (en fase gaseosa) el GLP tiene emisiones más contaminantes que el gas natural. Sin embargo, el gas natural tiene una

capacidad térmica más baja que el GLP, lo que reduce su eficiencia; esto quiere decir que hará falta quemar mayores cantidades de gas natural para obtener los mismos resultados que con la quema de GLP (hervir agua, por ejemplo). Para ello los factores de emisión se refirieron a las unidades de calor producidas.

Haciendo un sencillo análisis comparativo se ve que el GLP se mantiene con emisiones más elevadas a pesar de su mayor capacidad térmica, principalmente en lo que se refiere a la emisión de compuestos de nitrógeno (NO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O).

En términos generales se podría decir que el gas natural es un combustible menos contaminante que el GLP. Sin embargo, las emisiones de GLP tampoco resultan ser muy elevadas, e incluso menores en algunos parámetros (pe metano, compuestos orgánicos totales), por lo que no se puede hablar de una gran diferencia entre los índices de contaminación generados por cada tipo de combustible.

Independientemente de las emisiones obtenidas de la combustión del gas natural y el GLP, también hay que tomar en cuenta el proceso de distribución de los combustibles. El gas natural se distribuye por medio de tubería de forma continua, mientras que el GLP se ha de cargar periódicamente. Los procesos de distribución y uso del GLP permiten la fuga de grandes cantidades de gas, las cuales se emiten directamente a la atmósfera y actúan como precursores para la formación de ozono (a través de una reacción fotoquímica), lo cual no se da en la distribución de gas natural.

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE RIESGO SOCIAL**

### **CANTIDAD DE ENERGÍA EN UNA COLONIA CON GAS NATURAL**

Midiendo la red proyectada de gas natural en la colonia El Colli y calculando el volumen que podría almacenar, se determina la cantidad de energía que significa el gas natural en la colonia referida.

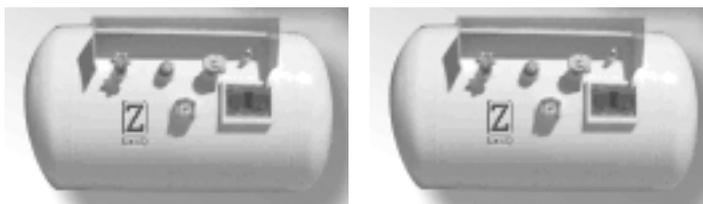
#### **¿A cuánta energía equivale el gas natural de la red proyectada en el Colli?**

La red general de gas natural proyectada para esta colonia, contendría aproximadamente 370m<sup>3</sup> del combustible. Esa cantidad almacenada de gas natural representa **3,852Mcal**.

- Equivale a la energía contenida en 11 tanques de 30kg de GLP



- Equivale a la energía contenida en 2 tanques estacionarios de 300L



#### **CANTIDAD DE ENERGÍA EN CAMIONES REPARTIDORES DE CILINDROS DE GLP Y PIPAS EN CIUDAD**

En la colonia ingresan camiones y pipas repartidores de gas. Se estima que a la colonia mencionada entran cada día de 15 a 20 camiones repartidores de cilindros de 30kg (cada camión puede transportar hasta 47 cilindros) y de 4 a 6 pipas de 5,500L cada una.

Lo anterior significa que la cantidad de energía almacenada en dichos vehículos puede ser de hasta 336,626Mcal en camiones con cilindros de 30kg y 209,550Mcal en pipas, haciendo un total de **546,176Mcal** por día.

#### **CANTIDAD DE ENERGÍA EN UNA PLANTA DE ALMACÉN DE GLP**

En el caso de la colonia El Colli, no existe una planta de almacenamiento de GLP. Pero por ejemplo, en la ciudad de Guadalajara hay plantas de almacenamiento de 49´500,000 litros, que equivale a **314´325,000Mcal**.

## **RADIO DE INFLUENCIA DE UN INCIDENTE DE UNA PIPA DE GAS L.P. Y UN CAMIÓN CON CILINDROS**

### **Especificación del escenario**

Para este efecto se utilizó el escenario delimitado por la zona de distribución 019 del proyecto ZAP-RPE-03-019 denominado "019 EL Colli, red de distribución de gas natural media presión". Delimitado por las confluencias de las avenidas López Mateos Sur, Mariano Otero avenida Patria, avenida Tepeyac y avenida de las rosas.

### **Modelo utilizado y condiciones del escenario**

Para el modelado del radio de influencia se utilizó el programa CAMEO (computer aided management of emergency operations) elaborado por USEPA (agencia norteamericana de protección al medio ambiente) para apoyar a los usuarios en respuestas de emergencias ocasionadas por fugas y derrames químicas. Especialmente se utilizó el apartado de software denominado Aloha 5.2.3 (Areal locations of Hazardous Atmospheres) dadas las facilidades que brinda este programa para el modelado de radio de influencia de fugas.

Para las condiciones del escenario se utilizó el criterio de las peores condiciones climáticas y de velocidad del viento, así como el criterio de delimitación de la pluma fue el umbral toxicológico para cada material en particular como se describe en el resumen de condiciones.

### **Consideraciones generales sobre el riesgo social por sismo.**

El Riesgo por la Amenaza de sismo tiene dos componentes; la sola probabilidad de ocurrencia del sismo en un tiempo dado a lo cual se le llama Riesgo de Sismo ó Peligro Potencial Sísmico, y el Riesgo por Sismo, que representa la probabilidad que el sismo produzca un Evento Destructivo.

Sí el Evento Destructivo causa daño a las personas, a las edificaciones, ó al Medio Ambiente, el Riesgo adquiere la clasificación de Social.

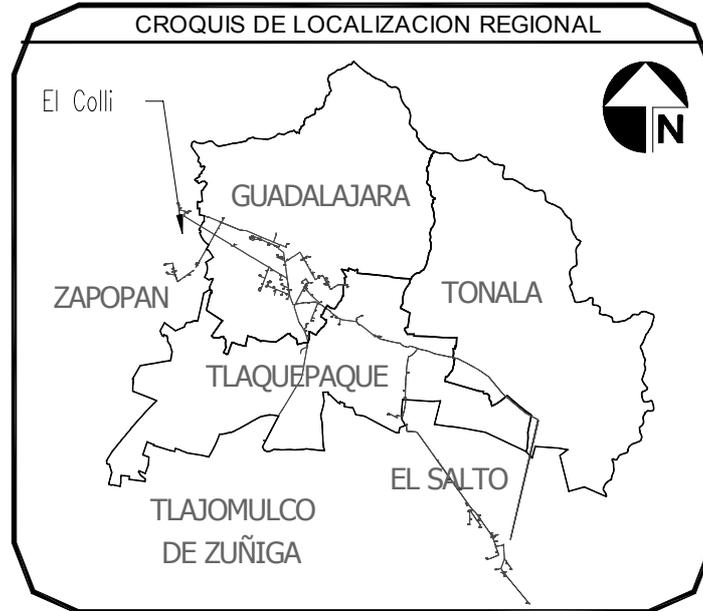
El Riesgo Social por Sismo depende fuertemente de la cantidad y tipo de asentamiento humano localizado en el lugar.

### **DAÑOS CAUSADOS POR EL EVENTO DESTRUCTIVO.**

En la eventualidad de la ocurrencia de un **Macro sismo** el daño más frecuente al sistema de **GN** es por los edificios y por el equipo consumidor. Los factores que más influyen son la mala calidad tanto en la construcción de los edificios, como en las instalaciones de los equipos que usan el GN en un proceso térmico.

Por la experiencia con Macro sismos en otros países, como es el caso de los que afectaron a California, USA, ha sido evidente que el movimiento brusco de equipo tal como, estufas, calentadores de agua, hornos y calderas son la causa principal de los accidentes, sobretodo después del sismo, 17% en el terremoto de Northridge en ese Estado, California Seismic Safety Commission, 2002.

También por efecto de un Macro sismo pueden ocurrir fugas de GN en la red de distribución. A pesar de que operan a baja presión pueden producir diferentes tipos de daño a las personas y el medio ambiente, entre otros por efecto térmico, por explosión o por asfixia.



**Figura No. 1 - Croquis de localización regional**

**DESARROLLO DEL ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGO SOCIAL POR MACRO SISMO.**

El Peligro Potencial Sísmico se determina usando el valor del Tiempo de Retorno estimado, mientras que el Riesgo por Sismo es obtenido a partir de la Vulnerabilidad para cada uno de los escenarios y los incidentes estudiados.

## **PARAMETROS PRINCIPALES DEL MACROSISMO.**

En la ausencia de los estudios de **Zonificación** y de **Mecánica de suelos**, los parámetros principales que permiten seleccionarlas características de un Macro sismo que pueda afectar de manera fatal a las personas y causar un daño severo a las edificaciones en la Zona poblacional de El Colli, serán la Magnitud, la Aceleración Pico del suelo (**PGA**) y la Intensidad.

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Dadas las bases de diseño que contemplan poder resistir sismos de magnitudes de grado 7, es de esperarse que de la misma manera que han resistido los ramales principales que PEMEX instaló hace años, no se presente el Evento Destructivo en las redes de distribución del proyecto actual de DGJ asociado a una Intensidad Grado VII ó mayor.

### En cuanto al Nivel de Riesgo

El Nivel de Riesgo está ubicado en una región de **NO TOLERABLE** debido de manera fundamental a que el valor de la Frecuencia Anual utilizada está concebido para proteger a las instalaciones.

La ubicación del Nivel de Riesgo puede mejorarse reduciendo al mínimo las fatalidades de la Vulnerabilidad, cualquier cantidad entre 1 y 10 ajustaría el valor en el rango de ALARP.

### En cuanto al daño por incendios

Los valores de área que pudiese dañarse por incendio después del terremoto, se obtuvieron para los edificios ubicados en los corredores de mayor peligro, sin embargo no puede descartarse que aunque de una menor proporción, los incendios en usuarios con líneas de servicio menores de 4" pudieran presentarse.

La cantidad de incendios provocados por el Macro sismo puede reducirse de manera drástica por medio de una relación estrecha entre DGJ y los usuarios.

El uso de sistemas shut off y los demás dispositivos y arreglos incide directamente en los daños por incendios post terremoto, la California Seismic Commission hace énfasis en la posible reducción hasta un nivel insignificante de accidentes por incendio cuando se usan los equipos y arreglos mencionados.

Por otro lado, de acuerdo a las experiencias en California, el restablecimiento del servicio de **GN** a los usuarios podría tardar hasta un mes, sin embargo las estimaciones sugieren que pueden reducirse con una colaboración estrecha y permanente.

Para el porcentaje de incendios estimado con la ocurrencia del Macro sismo en El Colli, y por la capacidad de respuesta de la empresa operadora, se podría suponer que el tiempo se reduce a 5 ó 10 días máximo.

En cuanto a la Vulnerabilidad por Radiación Térmica sobre las personas

Estudios internacionales sobre emisiones a la Atmósfera de GN indican que **50 por ciento** de emisiones de tipo moderado, como en el caso de la red de distribución de El Colli, no encienden sino crean una nube tóxica; **40 por ciento** encienden **después** de ser liberados, y crean fuego tipo antorcha; el **10 por ciento** encienden **inmediatamente** al emitirse con un fuego de antorcha (J.B. Cornwell and W.E. Martinsen, 1999)

Por las experiencias de Macro sismo en California, se ha concluido que el daño a las redes de distribución modernas generalmente presentan un impacto muy bajo sobre las personas, es más alto en redes de distribución que tienen muchos años de estar operando y que fueron construidas con otros materiales diferentes al polietileno que ofrece mayor flexibilidad y seguridad. Son más altos los efectos en los edificios viejos y mal construidos.

El Radio de influencia es de casi 40 metros, sin embargo la Radiación de calor es relativamente baja, la protección que ofrecen los edificios y los vehículos reducen a un valor poco significativo la posibilidad de daño fatal.

La densidad demográfica varía a lo largo de cada sección de la tubería, y muchas de las secciones no tienen ningunas viviendas o población permanentes bastante cercana a la tubería como para que se vean afectados fatalmente.

En la cuantificación aparecen 9 personas ubicadas en automóviles, en realidad esa cantidad podría eliminarse, con lo cual la cantidad de personas con daño fatal se reduciría a 6 en las áreas exteriores sin protección.

De manera consecuente, la Vulnerabilidad ( $V_T$ ) por concepto de efecto de la Radiación Térmica se reduciría a un valor probable de **6 / 14 420**, ó sea  $V_T = 0.41 \times 10^{-3}$

En cuanto a la Vulnerabilidad por Explosión sobre las personas

El Radio de influencia es de casi 200 metros, sin embargo la onda de sobrepresión es relativamente baja, de igual manera que con la Radiación de Calor, la protección que ofrecen los edificios y los vehículos reducen a un valor poco significativo la posibilidad de daño fatal.

La Vulnerabilidad ( $V_E$ ) por concepto de efecto de la Onda Explosiva se reduce a un valor probable de **7 / 14 420**, ó sea  $V_E = 0.485 \times 10^{-3}$

En cuanto al daño por desplazamiento del Oxígeno

El gas lanzado se incorpora a la atmósfera muy rápido, dando por resultado que se mezcla fácilmente con el aire cerca del punto del lanzamiento.

El número de personas probables de recibir lesiones fatales debido a la exposición al efecto asfixiante por el desplazamiento del Oxígeno, para cada uno de las zonas de riesgo aún en e condiciones adversas de estabilidad en las condiciones atmosféricas, no es significativo.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las Conclusiones y Recomendaciones proporcionan las empresas distribuidoras y a la sociedad en general una idea de las posibilidades de daño y medidas que se podrían tomar para mitigar el efecto del Evento Destructivo sobre las personas y las edificaciones.

Siendo estas atribuibles principalmente para el uso de Gas Natural las inducidas por sismo que afecta directamente a los ductos de conducción por acción del sismo sobre las edificaciones y la infraestructura

En cuanto al daño por incendios:

Las afirmaciones que hace la California Seismic Safety Commission en el documento "Improving Natural Gas Safety in Earthquakes", - sobre las probabilidades de tener una relación de 0.33 de incendios por cada 100 000 m<sup>2</sup> de área de edificios, es de 1X10<sup>6</sup> ó sea 1 en 1 millón -, indican que la probabilidad de incendios por terremoto es menor que la probabilidad en ausencia del mismo.

La misma institución, en el mismo documento afirma que; el promedio anual per capita de incidentes de incendio en los Estados Unidos de Norteamérica, según el "Fire Protection Handbook,1996" es de 0.008 veces, es decir que basándose en las estadísticas promedio anteriores, la probabilidad de que una persona sea dañada por incendio como consecuencia de terremoto, es 8000 veces menor que en ausencia del mismo.

Es recomendable buscar la información sobre este punto para la ZMG para establecer una comparación y aportar material de soporte a la opinión pública.

Recomendaciones de tipo genera para manejo de redes de gas natural.

- Proporcionar información al público por medio de Radio, Televisión, Periódicos, Internet etc.
- Proporcionara los usuarios recomendaciones y entrenamiento sobre uso adecuado de las válvulas manuales tipo shut off.

- Proveer información a los usuarios sobre medidas de seguridad como el uso de sujetadores para sujetar los calentadores de agua.
- Preparar lineamientos sobre como reaccionar en caso de sismo, plan de contingencia.
- Desarrollar y promocionar un plan de respuesta por el sismo; autoridades, empresas, escuelas, iglesias etc.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

D.J.Ball, et. al., 2000. "*Societal Risk, a Final Report*". Health and Safety Executive, UK.

R.J. Harris, M.R. Acton, 2001. "*Development and Implementation of Risk Assessment Methods for Natural Gas Pipelines*". Advantica Technologies Ltd. UK.

The Office of Gas Safety Standards, Australila Committee, 2002. "*Guide to Quantitative Risk Assessment, QRA*". Risk & Reliability Associates Pty Ltd.

HSE-Health and Safety Executive Risk Assessment, UK-. "*Report on Study of international Pipeline Accidents"2000*". HSE Books.

Quest consultants Inc. "*The Significance of Hazard End Points in Quantitative Risk Analysis*". HSE Books.

## **APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EXPLOTACION PETROLERA EN ECOSISTEMAS SENSIBLES**

*Guido Yánez Quintana*  
Ecuador

---

### **1. ECUADOR MEGADIVERSO**

A pesar de tener solo 283.561 kilómetros cuadrados que corresponden al 0,19 % de la superficie terrestre, Ecuador es uno de los 17 países más mega diversos del mundo. Debido a su ubicación geográfica, su topografía y su clima, el país cuenta con 34 formaciones vegetales, incluyendo ecosistemas que comprenden desde las nieves perpetuas, páramos andinos, selvas tropicales, bosques húmedos, playas y arrecifes. Esta variedad de espacios naturales constituye el hábitat de 402 especies de anfibios, 1.559 especies de aves, 374 especies de reptiles y 20.000 especies de planta superiores.

La conservación de los recursos naturales y la diversidad biológica son trascendentales para la supervivencia de las generaciones presentes y futuras del Ecuador, de nuestra región y nuestro planeta. La diversidad biológica, constituye en primer lugar, un banco natural donde se conserva el material genético de plantas y animales, que no han sido domesticados por el ser humano, y pueden constituirse en fuente de alimento, proveer a la industria de fibras naturales que reemplacen a las sintéticas o la próxima sustancia para crear una medicina que cure una enfermedad terminal.

El Parque Nacional Yasuní comprende una extensión de 982.000 Ha., está calificado científicamente como REFUGIO DE PLEISTOCENO y declarado por la UNESCO EN 1989, Reserva de la Biósfera.

El Parque Nacional Yasuní se extiende en las cuencas de los ríos Yasuní, Cononaco, Nashiño y Tiputini, tiene un rango de elevación de 300 - 600 m., tiene zonas planas inundables temporalmente, zonas pantanosas, pozas y los complejos lacustres de Jatuncocha, Garzacocha y Lagartococha.

Esta zona es considerada por varios biogeógrafos como de alto endemismo donde las especies se han conservado desde el final del pleistoceno (entre 22 a 13 mil años antes de la actualidad). Este refugio es importante no solo por la variedad de especies sino por ser centros de especiación y dispersión de seres vivos.

El número y la variedad de los vegetales es mayor que en cualquier otro ecosistema terrestre del mundo. Los bosques del Yasuní albergan el mayor número de especies de árboles por hectárea del mundo y por ende se supone una diversidad faunística aún mayor.

El bosque de tierra firme ocupa alrededor del 77% de la superficie total del Parque. La vegetación natural de éste se caracteriza por ser siempre verde, heterogénea, densa, con especies de gran tamaño y mucha flora epifítica. Por su irregular fisionomía y fisiografía presenta una gran variedad de hábitats.

En cuanto a la fauna del Parque, se han identificado más de 500 especies de aves, entre las que se encuentra el Paujil, actualmente en peligro de extinción. En cuanto a mamíferos se han registrado 173 especies dentro del Parque, aunque se estima que existan unas 200, que correspondería al 57% de todos los mamíferos del país.

La herpetofauna es una de las más grandes a nivel mundial, se han registrado más de 100 especies de anfibios, con 43 especies de ranas arborícolas y otro centenar de reptiles, entre ellas 62 especies de serpientes. Constituyen un caso especial las tortugas charapas cuyo caparazón puede llegar a medir 1 m., constituyendo la mayor tortuga de agua dulce del mundo. La ictiofauna presenta una altísima diversidad, motivada por la gran variedad de ambientes acuáticos como los ríos de aguas negras, de aguas blancas y aguas claras, los pantanos y las lagunas. Entre ellos destaca el paiche por ser el mayor pez de agua dulce del mundo y el bagre por el valor que tiene su carne.

El Parque es considerado una de las reservas de mayor diversidad genética del planeta, área de gran interés científico y potencialmente turístico. En su interior vive la nacionalidad indígena Huaorani y algunos grupos no contactados como Tagaeri y Taromenane. Por todo esto es considerado uno de los Parques más emblemáticos del país, pero a pesar de esto su conservación no está asegurada.

## **2. EXPLOTACIÓN PETROLERA EN EL PARQUE YASUNÍ**

Alrededor del 60% del Parque Nacional Yasuní está concesionado a empresas petroleras, las que están extrayendo un crudo pesado de 16-24 ° API. Los bloques petroleros localizados en el Parque Yasuní son los siguientes:

- **Bloque 31- Pérez Companc.** 200.000 Ha. Está ubicado en su totalidad en el corazón del Parque. La empresa argentina ya finalizó la prospección sísmica y empezará pronto con la perforación exploratoria, pero transfirió sus acciones a una nueva empresa.
- **Bloque 14 - Vintage Oil (Elf).** Para su explotación la Elf abrió 2.042 Km. de líneas sísmicas, 4 pozos exploratorios y una carretera que ya está colonizada. Se construyeron 30 Km. de carretera, que abrió una nueva frontera de colonización en el Parque, donde se han asentado unas 300 familias de colonos.

- **Bloque 15 - OCCIDENTAL** Colinda con la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní, en la zona norte.
- **Proyecto Campo compartido Edén-Yuturi.** Por su localización a 75 km. Las reservas estimadas son de 153.9 millones de barriles para un periodo de explotación de 20 años, con una producción máxima en 46 pozos de 44.500 barriles diarios.
- **Bloque 16 - Repsol-YPF.** Campos: Tivacuno, Bogui, y Capirón, antes explotado por CONOCO, después por MAXUS y actualmente por Repsol-YPF. Inicialmente formaba parte del Parque, en la actualidad se encuentra en territorio Huaorani y área de amortiguamiento.
- **Bloque 20 Proyecto ITT** Se ha realizado la exploración por PETROECUADOR abriendo 600 km<sup>2</sup> de líneas sísmicas 5 pozos exploratorios

### **3. LEGISLACIÓN AMBIENTAL**

La legislación ambiental aplicada a la actividad hidrocarburífera en ecosistemas sensibles es la siguiente:

- **Constitución de la República,** en la que establece su compromiso sobre la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad, la integridad del patrimonio genético del país y el derecho a que los ciudadanos vivan en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. La misma carta magna, determina la obligatoriedad de adoptar las medidas pertinentes para lograr la preservación del medio ambiente, prevención de la contaminación ambiental, el manejo sustentable de los recursos naturales y de los sistema de áreas naturales protegidas.
- **Convenios internacionales:** Ecuador es suscriptor de diferentes convenios internacionales entre los que se destacan:
  - Convención sobre la Protección de la flora y fauna de las Bellezas Escénicas y Naturales de los países de América, firmado en Washington en 1940 y ratificado por el Congreso del Ecuador en 1943.
  - Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, firmado en París en 1974 y ratificado en 1974.
  - Convenio sobre la Diversidad Biológica, firmado en Río de Janeiro en 1992 y ratificado por el Congreso del Ecuador en 1993
- **Leyes nacionales:** Actualmente se encuentra en vigencia diversas leyes y decretos relacionados con la preservación del medio ambiente y especialmente con la conservación de los ecosistemas sensibles, entre los que se destacan la siguiente normativa ambiental:
  - Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre

- Ley de Gestión Ambiental
- Ley de Hidrocarburos
- Ley de Aguas
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- Reglamento a la Ley Forestal y de Áreas Naturales y de Vida Silvestre.
- Normas para la Prevención, Control, Rehabilitación del Medio Ambiente en las Actividades Hidrocarburíferas de Exploración y Explotación en los Parques Nacionales y Equivalentes.
- Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas
- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.
- Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Anexo 1.
- Bases de Contratación de los contratos de Participación para la Explotación de Hidrocarburos.

#### **4. FUENTES DE GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

En la fase de explotación del petróleo, las principales fuentes de generación de aguas residuales son:

- Lodos de perforación
- Aguas de perforación
- Aguas residuales de los skim ponds
- Aguas negras y grises de los campamentos
- Lixiviados

Especial atención merecen las aguas de formación las mismas que constituyen el mayor riesgo ambiental si éstas no son manejadas adecuadamente, debido al volumen y características físico-químicas. Estas aguas poseen altas concentraciones de cloruros, cuya salinidad pueden superar los 180.000 ppm. En el caso de que éstas fuesen descargadas al ecosistema sensible aledaño, éstas causarían un fuerte impacto ambiental, alterando el hábitat acuático y terrestre en el área de influencia directa e indirecta. Además de la alta salinidad, las aguas de formación contienen sulfuros y sales de calcio, magnesio y manganeso. También contienen gases disueltos tales como dióxido de carbono, gas sulfhídrico y dióxido de azufre, lo cual constituye una gran amenaza y otras sustancias contaminantes tales como los metales pesados (bario, mercurio, selenio,

cadmio, cobalto, vanadio y plomo). Por su propia naturaleza, las aguas de formación contienen residuos de hidrocarburos.

El art 29 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (Decreto N° 1215, publicado en el Registro Oficial N° 265 del 13 de febrero del 2001), establece la obligatoriedad de reinyectar las aguas de formación para impedir la contaminación del ambiente y afectar los cuerpos hídricos adyacentes.

Una de las fuentes generadoras de importantes volúmenes de aguas negras y grises constituyen los campamentos para alojamiento del personal, cuyos caudales se incrementan proporcionalmente al incrementarse el número de personal en las siguientes situaciones:

- Nuevos proyectos de perforación
- Reacondicionamiento de los pozos petroleros
- Trabajos de mantenimiento, auditorias, montaje de equipos, etc.

La normativa ambiental vigente para la actividad petrolera es aún mas exigente que la norma ambiental establecida en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), lo cual demanda de mayor severidad de los procesos de tratamiento de las aguas residuales para lograr valores inferiores a los límites máximos permitidos.

## **5. BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS**

La aplicación de tecnologías limpias en el manejo de las aguas residuales de la explotación petrolera proporciona una serie de beneficios económicos, ambientales, sociales y legales.

### **Beneficios económicos**

Al reducir el volumen de consumo de agua, también se reduce el volumen de aguas residuales y por ende se reducen los costos de tratamiento del agua captada de los riachuelos aledaños y el costo de tratamiento de las aguas residuales.

### **Beneficios ambientales**

La aplicación de tecnologías limpias en el desarrollo de las actividades hidrocarburíferas en ecosistemas sensible adquiere especial importancia debido a que ello implica la reducción de la carga contaminante en las aguas residuales y disminuye el riesgo de contaminar los cuerpos hídricos, de los cuales potencialmente podrían abastecerse comunidades aborígenes de la zona.

### **Beneficios sociales**

Un programa bien estructurado de tecnologías limpias en el manejo de las aguas residuales en la fase de explotación petrolera contribuye notablemente a mejorar las relaciones de la industria petrolera con la comunidad, así como a proporcionar una adecuada imagen de la industria hacia sociedad y el estado.

### **Beneficios legales**

Los sistemas de control ambiental, en lugar de prevenir la contaminación. Están enfocados al cumplimiento y aseguramiento de disposiciones y ordenanzas orientadas a regular las descargas de los efluentes industriales contaminantes, desde este punto la aplicación de tecnologías limpias, a través de un plan de prevención de la contaminación ofrece beneficios legales tales como:

- Mejor cumplimiento de las regulaciones ambientales
- Evitar sanciones y el deterioro de la imagen de la empresa
- Evitar posibles demandas legales por parte de perjudicados
- Evitar demandas por perjuicios y delitos ambientales.

## **6. APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS**

Las empresas petroleras que operan en el Parque Yasuní tienen la oportunidad de aplicar un sinnúmero de opciones de tecnologías limpias para optimizar las operaciones hidrocarburíferas, entre las que se destaca:

### **Aguas de formación**

- Utilizar químicos altamente biodegradables tales como demulsificantes, antiespumantes, floculantes/coagulantes, anticorrosivos y biocidas para minimizar la contaminación ambiental.
- Absolutamente el 100% de las aguas de formación son reinyectadas a la formación original y de esa manera se evita la mezcla de aguas incompatibles y la posible formación de precipitados de carbonatos y sulfatos insolubles que potencialmente generarían el taponamiento de la formación ya la consecuente reducción de la producción de petróleo y decrecimiento de la productividad del yacimiento.

### **Aguas de las piscinas de separación y separadores API**

Los demulsificantes a ser utilizados en esta fase deben ser muy eficientes y además altamente biodegradables, de esta manera se minimiza la presencia de aceites y grasas, hidrocarburos totales e hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cuales constituyen un serio riesgo de

contaminación, especialmente estos efluentes industriales son descargados a cuerpos hídricos que posteriormente servirán de fuente de abastecimiento de agua de poblaciones localizadas aguas abajo, o que sirvan de fuentes de pesca de las comunidades.

Otra opción es la reutilización de los efluentes de las piscinas en la fase de separación del petróleo, en la que se agrega agua y demulsificante para romper la emulsión agua-petróleo y lograr una interfase nítida y lineal.

Estas opciones tienen vital importancia al momento del reporte de la calidad de las aguas de emisión e inmisión, las mismas que exigen el cumplimiento de la normativa ambiental.

### **Aguas negras y grises de los campamentos**

Entre otras la aplicación de las tecnologías ambientales se destacan las siguientes:

- Uso de detergentes 100% biodegradables y que su contenido de fosfatos sea reducido, de esta manera se minimiza el riesgo de eutrofización, válido especialmente cuando los efluentes son descargados a esteros o cuerpos hídricos con poca rotación del agua.
- La dosis de detergente a ser agregado a la lavadora debe ser solo aquella sugerida por el fabricante y evitar el excesivo uso de detergente.
- Utilizar el 100% de carga de las lavadoras automáticas. Se debe evitar el funcionamiento de las lavadoras con reducida carga, por cuanto, el consumo de agua es la misma ya sea con el 100% de carga o menos.
- El agua de enjuague de la lavadora generalmente contiene residuos de detergente y por su propia naturaleza puede ser reutilizada en la primera fase de la siguiente lavada.
- Reunir la ropa del campamento y lavarla en un solo horario, para evitar lavadas discontinuas.
- Utilizar agua caliente en la primera fase, especialmente al lavar la ropa manchada con hidrocarburos.
- En la fase de lavado de la vajilla del comedor, retirar manualmente todos los residuos de alimentos y grasas, a fin de disminuir la carga orgánica en los efluentes.
- Instalar rejillas de desbaste grueso y fino en las aguas residuales del comedor.

- No utilizar chorros de agua para descongelar los productos. Adoptar buenas prácticas de manufactura en el comedor, incluyendo aquellas que impliquen el ahorro de agua.
- Programar los cambios de sábanas y toallas de acuerdo a las necesidades climáticas.
- Instalar llaves temporizadas de agua para reducir el consumo de agua potable
- Cambiar los tanques de los inodoros de alto consumo por tanques mas reducidos (1.6 gal), o instalar botellas con arena para reducir el volumen libre del tanque y por ende el consumo de agua por cada uso en las necesidades biológicas.
- También se puede segregar las aguas grises de los lavamanos y duchas, clorarlas y éstas pueden ser posteriormente reutilizadas en los inodoros para convertirse en aguas negras.
- Un factor que ayuda a establecer los indicadores ambientales es el conocer el consumo de agua y la cantidad de ropa/raciones alimenticias elaboradas, y esta manera hacer un seguimiento del mejoramiento de los indicadores ambientales.
- Es prudente periódicamente inspeccionar las líneas de agua para identificar a tiempo posibles fugas, especialmente los sellos de los inodoros..
- Capacitar y concienciar al personal en la necesidad de reducir el consumo de agua.

## **7. CONCLUSIONES**

El desarrollo de las actividades petroleras en ecosistemas sensibles demanda la aplicación de tecnologías limpias preventivas para minimizar los riesgos ambientales que implica la descarga de efluentes fuera de especificaciones. Esta práctica preventiva implica beneficios económicos, ambientales, sociales y legales.

Por ningún concepto se puede descargar aguas de formación al ambiente, deben ser reinyectadas a la formación.

El uso de químicos biodegradables y eficientes ayudan enormemente a reducir los riesgos ambientales y los costos de tratabilidad de los efluentes.

La reutilización de las aguas grises en los inodoros de los campamentos constituye una oportunidad para reducir el consumo de agua.

## **EFICIENCIA ENERGÉTICA E INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA INDUSTRIA PETROLERA-CASO: COMPAÑÍA PETROLERA ABC ECUADOR.**

*Mauricio Meza*  
**([mmeza\\_2001@yahoo.com](mailto:mmeza_2001@yahoo.com))**  
Envirotable Group-Quito-Ecuador

---

### **1. PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Introducción**

La preocupación mundial por el cambio climático se inicia cuando se advierte un calentamiento global del planeta, que está provocando, entre otros, fenómenos tales como inundaciones de las tierras bajas y amenazando territorios como pequeñas islas, cambios en la ecología que afectan a las economías de los países.

Según parte de la comunidad científica internacional, el problema se produce cuando algunos gases, como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorcarbonados y otros, evitan que los rayos solares que llegan a la tierra, se refracten y salgan nuevamente a la atmósfera, provocando el calentamiento; es decir actúan como un techo invisible (invernadero) que permite que el calor del sol llegue a la tierra pero impide que se disperse en la atmósfera o más allá de ella. Existen fuentes naturales que producen estos gases (explosiones volcánicas, por ejemplo), y también sumideros, tales como los bosques o los mares que son capaces de descomponer estos gases y evitar que el efecto de calentamiento ocurra. Sin embargo el problema es que la acción del hombre está provocando que las emisiones de estos gases de invernadero, sean mucho mayores que la capacidad de absorción de los sumideros, con lo que su cantidad va en constante aumento lo mismo que sus efectos.

Los gobiernos del mundo acordaron que es necesario tomar acciones para evitar que el efecto invernadero avance y por tanto organizaron el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), del que son parte casi todos los países del mundo. Aquí se toman acuerdos sobre las acciones para disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GHG por sus siglas en inglés). Por ejemplo, se acordó que los países más industrializados del mundo deberán reducir sus emisiones durante el período 2008-2012 en un 5.2% sobre los niveles de emisión de 1990 (Protocolo de Kyoto). También se estableció un fondo mundial (el Global Environmental Facility) cuyo propósito es apoyar proyectos que tiendan a reducir las emisiones de gases de invernadero en los países en desarrollo, especialmente con el uso de energías renovables o eficiencia energética.

En ese contexto, es importante que todas las empresas, especialmente las del sector energético, cuantifiquen sus emisiones de GHG e identifiquen las tendencias, investiguen las causas y tomen acciones para disminuirlas o eliminarlas, de ser posible.

### **1.2. Justificación**

El objetivo del estudio, es realizar un inventario de emisiones de GHG para definir medidas de eficiencia energética y de manejo ambiental que las disminuyan. Un segundo objetivo es la participación de ABC Ecuador en el mercado del carbono, con una estrategia de reducción de emisiones, tanto a nivel local, regional o mundial.

### **1.3. Objetivo y Alcance**

El objetivo general del estudio, es realizar un inventario de GHG que se generan durante las operaciones normales que ABC Ecuador realiza en el bloque xx. El inventario comprende las distintas locaciones e instalaciones de ABC Ecuador en dicho bloque.

Para determinar el ahorro energético, se incluye una cuantificación de emisiones antes y después de la entrada en operación de la planta generadora de energía eléctrica a gas natural. También se determina un índice de intensidad de carbono de producción para medir el desempeño ambiental de la empresa.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DEL TRABAJO**

### **2.1. Metodologías**

En este inventario de GHG se han utilizado dos metodologías para estimar el nivel de emisiones: la Global Climate Change Voluntary Challenge Guide proporcionada por la CAPP (Canadian Association of Petroleum Producers) como principal, y las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de GHG, para comprobar y validar los resultados.

#### **Metodología CAPP**

Esta guía ha sido desarrollada para ayudar a las compañías del sector energético a estandarizar el cálculo de las emisiones de GHG provenientes de combustión, procesos de venteo, fugitivas y fuentes indirectas.

En primer lugar se establece un año base, de ser posible basado en datos del año 1990, estandarizado internacionalmente. Para el inventario de ABC Ecuador se utilizó el año 1992 como año base, debido a la disponibilidad de datos desde ese año.

Esta guía presenta dos aproximaciones estandarizadas para determinar las emisiones de GHG:

- El método simplificado permite la determinación de emisiones por combustión y fugitivas, con un mínimo de datos requerido.
- El método detallado utiliza factores de emisión específicos de acuerdo a la tecnología usada para determinar emisiones por combustión y fugitivas para los procesos y equipos de las instalaciones de la compañía. Este método puede también incluir un conteo genérico de los equipos.

Para el caso del inventario de GHG de ABC Ecuador, se ha utilizado el método simplificado.

Una vez realizada la cuantificación de emisiones de GHG, se procede a calcular los índices de Intensidad Energética de Producción y de Intensidad de Carbono de Producción de la empresa (El significado de éstos conceptos se explican en detalle en el Capítulo 3, acápite 3.2. Análisis de Resultados).

Los resultados del inventario de emisiones se reportan en términos de CO2 Equivalente (CO2E), que incluye CO2, CH4 y N2O. Los gases distintos al CO2 son convertidos en CO2E utilizando factores de Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) que toman en cuenta el impacto relativo de los diferentes GHG a la atmósfera y los tiempos de residencia en la misma. Los factores de potencial de calentamiento global se presentan a continuación:

**Tabla N° 1: Factores de Potencial de Calentamiento Global**

Gas	100 años de GWP
CO2	1
CH4 (metano)	21
N2O (óxido nitroso)	310
CF4	6500

Para determinar las emisiones de CO2E se utilizaron los factores de emisión propuestos por la metodología CAPP, basados en los factores de emisión por combustión presentados por la "Compilation of Air Pollutant Emission factors", AP-42, Enero de 1995.

#### **Metodología IPCC**

Las guías desarrolladas por el IPCC, sugieren dos enfoques complementarios para la elaboración de los inventarios de los GHG. El primero, denominado enfoque de referencia, se refiere únicamente a las emisiones de dióxido de carbono, cuantificadas a un nivel agregado. El segundo, llamado método por tecnologías, se refiere, además del CO2, a las emisiones de otros gases (CH4, N2O) y partículas, y se analizan las tecnologías energéticas de forma separada o individual. Este método requiere, además de la información sobre los flujos de productos que

entran a los diferentes nodos del sistema energético, datos específicos sobre las características de los procesos de transformación y de consumo que tienen lugar en cada uno de los nodos del sistema.

Cabe mencionar que los resultados se reportan en Giga gramos (Gg) y de forma independiente para cada uno de los gases.

Para el Inventario de GHG de ABC Ecuador se utilizó el método de tecnologías por categorías y se usaron los factores de emisión propuestos por la metodología IPCC. La utilización de éstos factores, además de facilitar comparaciones a nivel internacional sobre el volumen de emisiones, permite estimar dichas emisiones con un nivel aceptable de exactitud.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Comparación de Resultados

A efectos de validar los resultados obtenidos con la metodología CAPP, se utilizó la metodología IPCC. A continuación, se presentan los valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos con los dos procedimientos. No se presentan los valores en términos de CO<sub>2</sub>E para poder facilitar la comparación entre ambas metodologías.

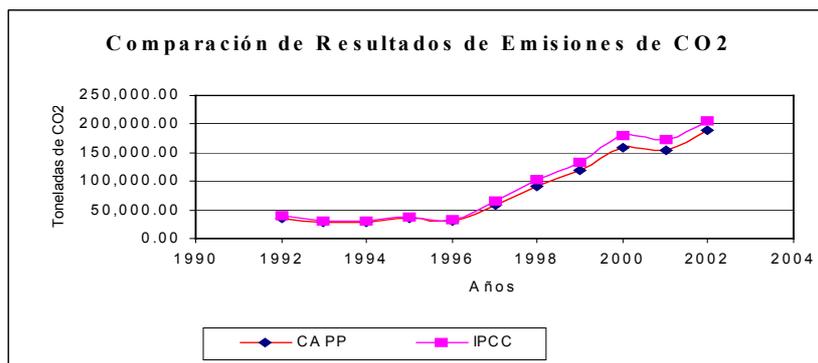
**Tabla N° 2: Comparación de Resultados de Emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos por métodos distintos**

A ñ o	C A P P	I P C C	D i f e r e n c i a (C A P P - I P C C)
1 9 9 2	35,437.63	40,113.66	-11.66%
1 9 9 3	26,904.63	30,268.06	-11.11%
1 9 9 4	27,383.84	30,783.83	-11.04%
1 9 9 5	34,085.69	38,453.19	-11.36%
1 9 9 6	29,917.65	33,621.32	-11.02%
1 9 9 7	57,279.13	64,414.86	-11.08%
1 9 9 8	92,090.76	103,527.82	-11.05%
1 9 9 9	119,467.52	133,586.85	-10.57%
2 0 0 0	158,957.20	179,361.38	-11.38%
2 0 0 1	154,593.96	173,330.90	-10.81%
2 0 0 2	189,691.86	206,613.94	-8.19%

Unidades: Toneladas de CO<sub>2</sub>

Nótese que los valores obtenidos con ambos procedimientos son similares (la máxima diferencia es de 11.66%). La tendencia de la curvas es exactamente igual, tal como se observa a continuación.

**Grafico N° 1**



### 3.2. Análisis de Resultados

La siguiente tabla presenta un resumen de los resultados obtenidos utilizando la Metodología CAPP.

**Tabla N° 3: Inventario de GHG de ABC Ecuador (1992-2002)**

Año	Producción de Petróleo	Producción de Fluidos	Energía usada	PEI*	Emisiones de CO2E	PCI**
	m3 Petróleo/año x 10 <sup>3</sup>	m3 Fluidos/año x 10 <sup>3</sup>	GJ/año x 10 <sup>3</sup>	GJ/m3 Fluidos	Tons CO2E	TonsCO2E/ m3 Fluidos
1992	299.06	495.08	674.03	1.36	38,981.83	78.7
1993	280.40	466.22	504.22	1.08	29,564.31	63.4
1994	259.59	454.70	512.26	1.13	30,087.00	66.2
1995	245.94	433.36	643.07	1.48	37,472.98	86.5
1996	311.05	578.18	559.22	0.97	32,869.12	56.8
1997	659.05	1,229.10	1,072.46	0.87	62,937.36	51.2
1998	1195.25	2,684.25	1,722.82	0.64	101,181.90	37.7
1999	2141.59	4,623.59	2,206.10	0.48	131,141.66	28.4
2000	2287.70	7,737.50	3,184.06	0.41	174,249.08	22.5
2001	2241.99	9,977.42	3,438.54	0.34	168,206.83	16.9
2002	2221.36	9,491.02	3,486.38	0.37	204,057.75	21.5

\* PEI: Índice de Intensidad Energética de Producción (ver detalle, pág. 14)

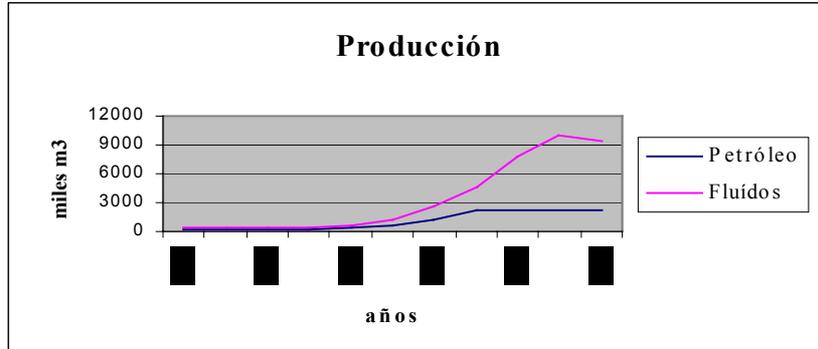
\*\* PCI: Índice de Intensidad de Carbono de Producción (ver detalle, pág. 17)

### PRODUCCIÓN

En el periodo 1992-2002, ABC Ecuador expandió sus operaciones de modo importante. La producción alcanzó su máximo el año 2000, ése año se produjeron 14 millones 389 mil barriles (2287.7 miles de m3 ) de petróleo. En el año 2001, disminuye en 1.99% y en el 2002, la producción

cae en 0.9% con respecto al año anterior. Una probable explicación a esta tendencia se halla en el no bombeo de petróleo cuando el SOTE (Oleoducto Trans-Ecuatoriano) tiene problemas para transportarlo, según los técnicos del departamento de producción de ABC Ecuador.

**Grafico N° 2**



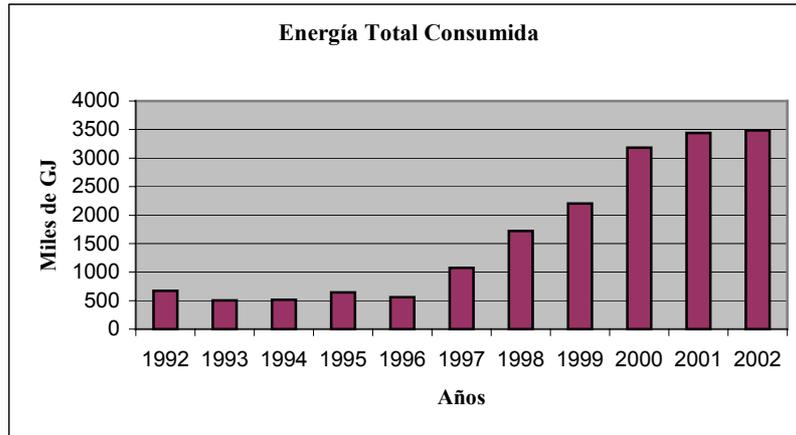
Para el período 1992 - 2002, la producción de flúidos alcanza un crecimiento de 1800 %. La curva de producción de flúidos tiene una tendencia a crecer a partir del año 1997, que es cuando crece significativamente la producción de petróleo. En 1997 la producción de flúidos es de 3 millones 114 mil barriles (1229.10 mil m3) y para el año

2002 alcanza los 59 millones 699 mil barriles (9491.02 mil m3), creciendo en un 672 % en ese período (1997-2002). La cantidad de barriles de agua extraídos por cada barril de petróleo fue de 0.66 en 1992, 0.86 en 1997 y de 3.27 en 2002, reflejando la necesidad de un mayor esfuerzo energético en el proceso productivo por las características del fluido extraído.

#### **ENERGIA UTILIZADA**

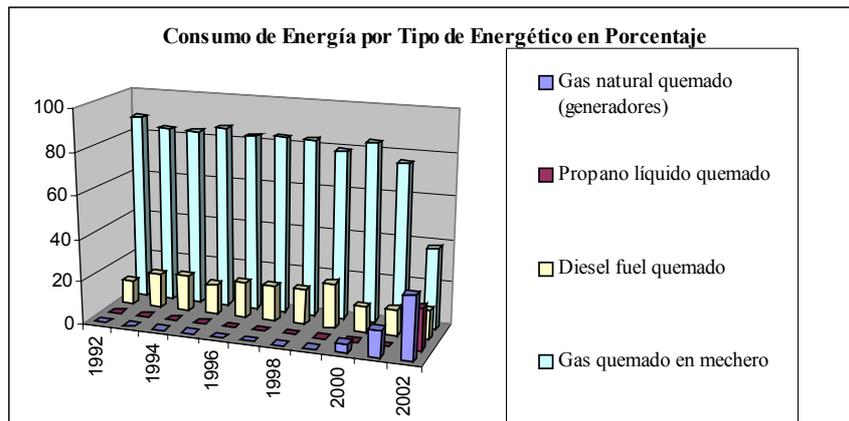
En el mismo período (1992-2002), la energía usada, que es la suma de los energéticos utilizados en el proceso productivo, se incrementó en 414 %. Cabe mencionar que el consumo de energía esta directamente relacionada al crecimiento de la producción de flúidos.

**Grafico N° 3**



Al descomponer la energía consumida por tipo de energético, es importante observar que hasta el año 2000, el gas asociado se quemaba en los mecheros y se usaba diesel oil para la generación de energía eléctrica. A partir de ese año, parte del gas que se quemaba en mecheros se usa para producir electricidad, sustituyendo parcialmente el uso de diesel oil. En el año 2002 se inicia el uso de propano líquido quemado, también para generación eléctrica.

**Grafico N° 4**

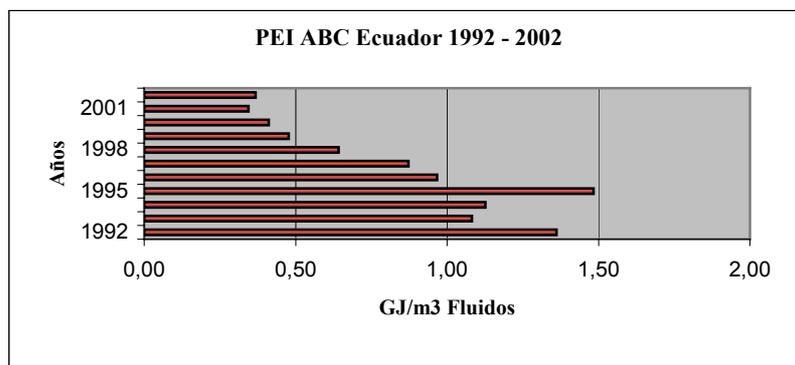


### INDICE DE INTENSIDAD ENERGÉTICA DE PRODUCCIÓN

El Índice de Intensidad de Energética de Producción (PEI por sus siglas en inglés) es el cociente entre la cantidad de energía utilizada y el volumen de producción, resultando una estimación promedio de la cantidad consumida de energía por unidad de producto (fluidos). Este concepto es muy importante porque expresa la eficiencia energética del proceso productivo.

En el PEI se observan valores muy fluctuantes, con el máximo el año 1995 y el mínimo en el 2001. El año 2002, el PEI sufrió un pequeño incremento (8.8%), que sin embargo no es significativo en el total, puesto que el PEI del año 2002 representa el 27% del valor de 1992 y el 25% del valor máximo de 1995. El resultado es, entonces, que existe una ganancia en eficiencia energética del 73% en el periodo de once años considerado en conjunto.

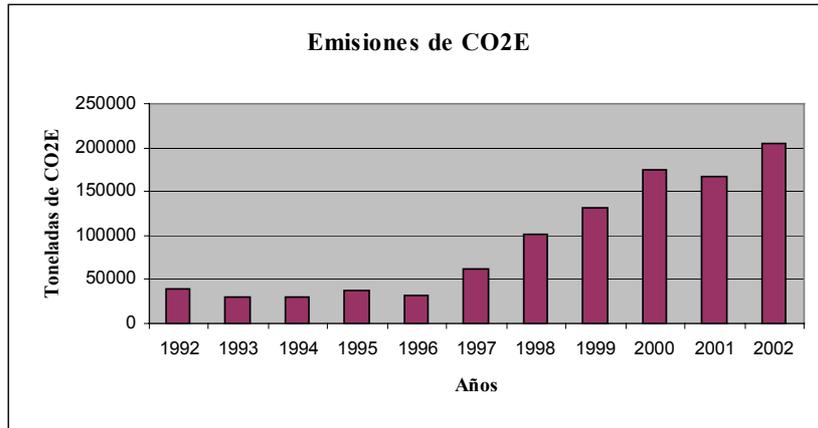
**Grafico N° 5**



### EMISIONES DE CO2E

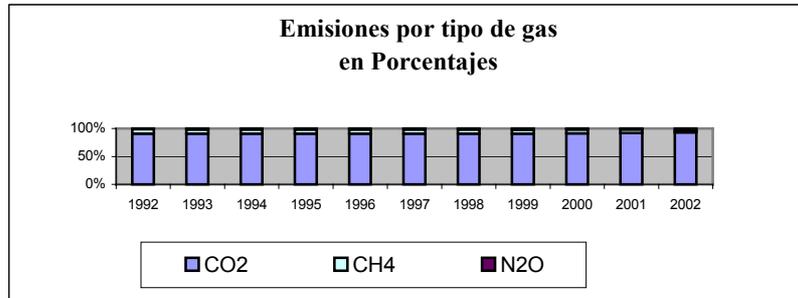
Las emisiones totales de CO2E crecieron vertiginosamente (423 %) entre los años 1992 y 2002, debido al aumento de la producción de fluidos.

**Grafico N° 6**



Al descomponer las emisiones por tipo de gas, se observa que el CO2 representa alrededor del 90% del total en todos los años, lo que es consistente con los resultados obtenidos para cualquier tipo de instalación energética.

**Grafico N° 7**

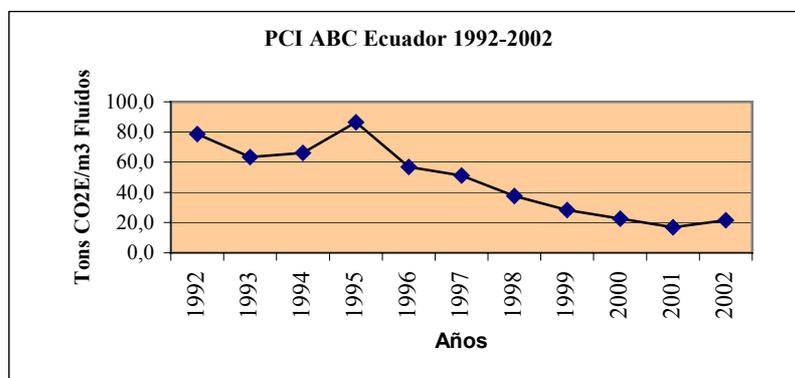


### INDICE DE INTENSIDAD DE CARBONO DE PRODUCCIÓN

El Índice de Intensidad de Carbono de Producción (PCI por sus siglas en inglés), es el cociente entre la cantidad de emisiones de carbono y el volumen de producción y mide la cantidad promedio de carbono emitido por unidad de producto (fluidos). Este indicador expresa el desempeño ambiental del proceso productivo.

Sin embargo al crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>E (423%), éste es inferior al aumento de la producción de fluidos (1800%), lo que se refleja en una disminución del PCI de 72.7% en el periodo 1992-2002. Las razones están en la sustitución de energéticos: diesel oil por gas natural y propano que son más limpios y por una ganancia en eficiencia energética ya descrita.

**Grafico N° 8**



Hay un hecho que merece ser resaltado. A partir del año 2000, una parte del gas natural que anteriormente se quemaba en mechero, se usa para generación eléctrica. Como resultado, las emisiones de CO<sub>2</sub>E son menores de lo que hubieran sido sino se adoptaba esa medida. Esas ganancias aparecen en la tabla siguiente, para los años en que se realizó el proceso de sustitución.

**Tabla N° 4: Reducción de Emisiones y % respecto del total de emisiones del año**

Año	Tons CO <sub>2</sub> E	%
2000	2,393	1.37
2001	7,362	4.76
2002	17,883	8.76

Esos ahorros representan más del 8,7 % de las emisiones del año 2002 y lo más importante, la tendencia es creciente.

#### 4. ESCENARIOS FUTUROS

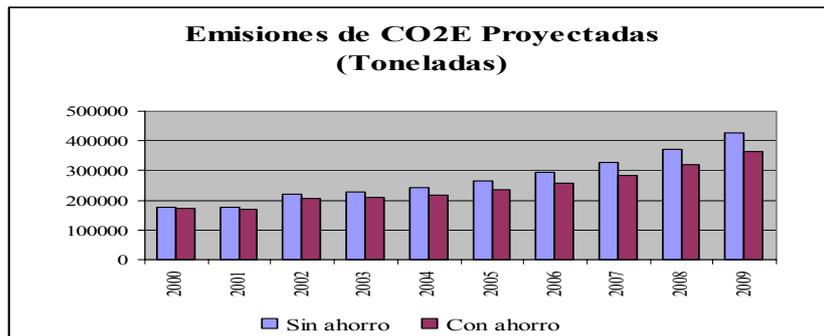
##### 4.1. Escenarios

Para poder proyectar los resultados, se hicieron los siguientes supuestos:

- ✓ La producción de fluidos se asume que crece en 15%, dado que las tasas de crecimiento de la producción de fluidos fueron de 65% entre 1997 y 2002, y de 30% entre 2000 y 2002; es decir, cayó a menos de la mitad si se considera sólo los últimos tres años. Por ello, se asume que en el periodo siguiente, también caerá a la mitad.
- ✓ Uso de gas natural en generadores eléctricos. Es muy difícil que las tasas de crecimiento de este combustible observadas para el periodo 2000-2002, que alcanzan a 200 y 140%, se mantengan. Por ello, se asumió, de modo conservador, que su crecimiento es de 20% anual.
- ✓ Propano Líquido. Recién el año 2002 se empieza a usar este combustible, por lo que no existe manera de calcular un promedio de las tasas de crecimiento. Por esto, se asume que su uso crecerá en 10% anual.
- ✓ Diesel oil. Se asume que cada año, el uso de este combustible crecerá en 11.3%, la tasa promedio de crecimiento del periodo 2000-2002.
- ✓ Gas quemado en mecheros. Entre el 2000 y el 2002, esta variable disminuyó en 27% por año. Para permitir un escenario menos optimista, se asumió una tasa de decrecimiento de 20% anual.

Con estos supuestos, se obtuvieron los siguientes resultados:

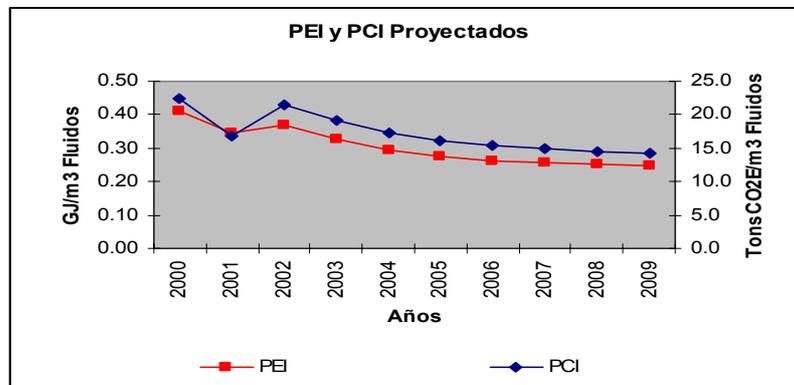
**Grafico N° 9**



Nótese que los ahorros son cada vez mayores. Por supuesto, esto ocurrirá si se continúa en el proceso de usar el gas natural en la generación de energía eléctrica.

También se proyectaron el PEI y el PCI, con los siguientes resultados:

**Grafico N° 10**



El PEI y el PCI continúan su tendencia decreciente, pero cada vez a ritmos menores. Esto es lógico porque las posibilidades de sustitución en el uso de los energéticos tienen límites. Sin embargo, las ganancias en eficiencia energética y en emisiones por unidad de producto son significativas y constituirían un valioso aporte de ABC al compromiso mundial contra la emisión de Gases de Efecto Invernadero.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El resultado más importante es que se han cuantificado las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el periodo 1992-2002, con dos metodologías diferentes, y los resultados son muy cercanos (la máxima diferencia es de 11.66% para las emisiones de CO<sub>2</sub> y en los últimos años disminuye). Cabe mencionar, que para el año 2001, la emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por ABC Ecuador representan el 0.8% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el sector energético en el Ecuador en ese mismo año (datos proporcionados por OLADE<sup>2</sup>). Es decir, los resultados alcanzados son confiables: el objetivo de la consultoría se ha cumplido.

<sup>2</sup> OLADE (Organización Latinoamericana de Energía)

Hay que destacar el hecho de que la metodología CAPP esta enfocada en el sector energético y específicamente en el área de petróleos, mientras que la metodología IPCC ha sido desarrollada para preparar los inventarios nacionales. Los factores de emisión de los GHG para cada una de las metodologías, provienen en algunos casos, de diferentes fuentes. Por esta razón, se da una diferencia en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y de los otros gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).

En cuanto a los datos y los indicadores, se puede decir lo siguiente:

- ⇒ Se observa que entre 1992 y 2002, la producción de fluidos crece en 1800% y la de petróleo 640%. Esto se explica porque al inicio del período de estudio, la cantidad de barriles de agua por cada barril de petróleo era de 0.66 en 1992 y de 3.27 en el 2002.
- ⇒ El crecimiento en la producción unido al deterioro de la calidad del fluido, provocaron una mayor necesidad de energía en el proceso productivo y, por tanto, un aumento en las emisiones de GHG. Es así que la cantidad de energía usada creció, en el periodo (1992-2002) en 414% y las emisiones en 423%.
- ⇒ Sin embargo, es de notar que el proceso productivo mejoró en eficiencia energética y desempeño ambiental. Los indicadores respectivos (PEI y PCI) disminuyeron en 73% en el periodo de análisis.
- ⇒ A partir del año 2000, se inicia el uso de gas natural en la generación de energía eléctrica. Este hecho provocó ahorros en las emisiones que representaron el año 2002, el 9% del total de emisiones.
- ⇒ Al proyectar la situación de ABC Ecuador hasta el año 2009, se observa que los ahorros en las emisiones crecen (aunque a tasas decrecientes) y que el PEI y el PCI disminuyen también a tasas decrecientes, llegando a casi un nivel de estabilidad al final del periodo proyectado.
- ⇒ Es de notar que el último año (2002) existió un empeoramiento en los indicadores de eficiencia energética y de contaminación, aunque en niveles menores.

## **5.2. Recomendaciones**

- ✓ Continuar con el proceso de uso de gas natural para generación eléctrica, contribuyendo de esta manera a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
- ✓ Continuar con la mejora en los procesos productivos, que ha provocado una disminución sostenida en el PEI y el PCI durante el periodo de análisis.
- ✓ Investigar las razones por las cuales la tendencia se revierte mínimamente el año 2002, para saber si se trata de un cambio permanente o de hechos circunstanciales que no afectarán en el futuro

(una de las razones parece ser lo expresado en el acápite 3.2 Análisis de Resultados, en el tema de Producción).

- ✓ El siguiente paso como consecuencia de este estudio, será el de certificar la reducción de emisiones de carbono por parte de una verificadora, para luego poder vender estos "Certificados de Reducción de Emisiones", vía MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) del protocolo de Kyoto o simplemente negociándolo en el Mercado de Carbono Internacional.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- AEC Ltd., 1999. Sixth Submission to the Voluntary Challenge & Registry. Calgary, Alberta-Canada: Alberta Energy Company Ltd.
- CAAP, et al., 2000. Global Climate Change Voluntary Guide. Alberta-Canada: Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP).
- CORDELIM, 2003. Taller de Promoción y Capacitación Básica en Proyectos de Certificación de Carbono. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente. Págs. 8-9.
- DAIMI s.a., 1999. Estudio Calidad Aire-Estación Fanny-Campo Dorine-MPF. Modelo de Dispersión de Partículas. Quito-Ecuador: City Investing Company. Págs. 98-101.
- IPCC, 2002. IPCC Database on Greenhouse Gas Emission Factors. Internet: <http://www.IPCC-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- IPCC, 1996. Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996. Bracknell-Reino Unido: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) WGI Technical Support Unit.
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Bracknell-Reino Unido: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) WGI Technical Support Unit.
- PDVSA, 1997. Energía y Ambiente: Estrategias para un Desarrollo Sustentable; Conferencia Internacional. La Ciencia de los Cambios Climáticos, Maracaibo-Venezuela: Gerencia de Asuntos Públicos del CIED. Págs. 31-36.
- Swisher, J., 1997. Tools and Methods for Integrated Resource Planning: Improving Energy Efficiency and Protecting the Environment. Roskilde-Dinamarca: UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory. Págs. 195.
- Wark, K., 1981. Air Pollution: Its Origin and Control. General Control of Gases and Vapors. New York-USA: HarperCollins, Publishers, Inc, Págs. 255-330.
- Villavicencio, A., 1998. Guías para el Cálculo de las Emisiones de Gases y Partículas del Sector Energético. Quito-Ecuador: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

# **Anexo**

**Uma Proposta  
Uma Propuesta**

---

**CREACIÓN DE FONDO DE APOYO A LA PRODUCCIÓN MINERA MÁS LIMPIA. FONAPROMIN-ML**

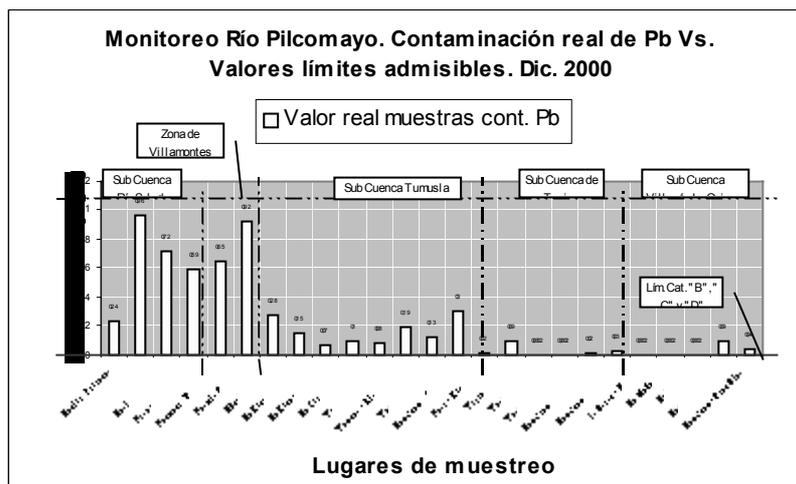
*Jorge Coddia Arroyo*  
Santa Cruz – Bolivia

---

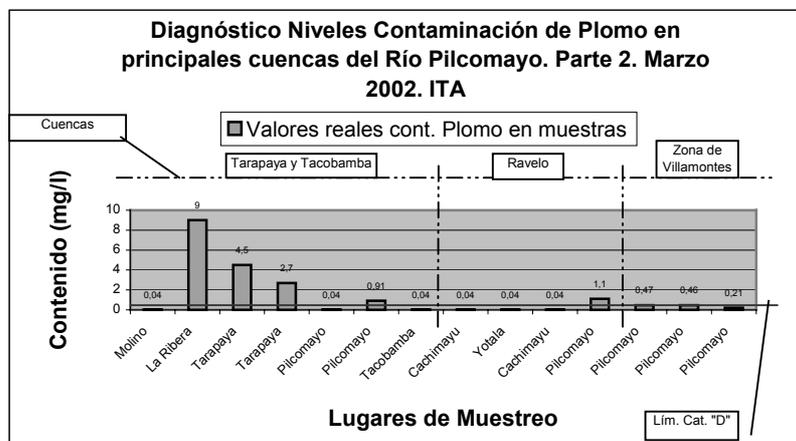
**1. INTRODUCCIÓN**

El impacto ambiental ocasionado por las actividades mineras sobre los factores agua, aire y suelo en Bolivia tiene una historia que datan desde el tiempo de la colonia hasta nuestros días. Durante la época gloriosa de los magnates de la minería y pasando por el período de la Comibol, el medio ambiente ha sido implacablemente impactado.

Recientemente (desde hace 20 años atrás) se ha pretendido detener la contaminación ambiental minera con acciones infructuosas y que hasta la fecha no muestran resultados efectivos. Una muestra de ello fue la pobre gestión de la Comisión Nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo (Dic.2000 y Marzo 2002), la cual utilizó grandes sumas de dinero en la ejecución de campañas de muestreo y verificación de estado de las cuencas afectadas por la contaminación minera. Estas campañas de monitoreo ambiental sobre el río Pilcomayo mostraron elevadísimos índices de contaminación por metales pesados, clasificándola como un río con aguas Clase "D", los cuales fueron ampliamente conocidos por la opinión pública. Pero la información quedó allí sin ninguna utilidad, puesto que hasta el día de hoy no se han tomado medidas efectivas para detener la contaminación ambiental, y ésta continúa creciendo por el incremento de la actividad minera en el Departamento de Potosí.



**Grafico 1 - Contaminación del Pilcomayo por contenido de Pb. Dic. 2000<sup>3</sup>**



**Grafico 2 - Contaminación del Pilcomayo por contenido de Pb. Marzo 2002<sup>4</sup>**

<sup>3</sup> Monitoreo Río Pilcomayo. Oficina Técnica Nal. de los Ríos Pilcomayo y Bermejo. Diciembre 2000.

<sup>4</sup> Monitoreo Río Pilcomayo. Comisión Nal. de los Ríos Pilcomayo y Bermejo. Marzo 2002.

Recientemente, el periódico La Prensa (publicación del 28/05/06)<sup>5</sup> informaba que la Prefectura de Oruro gastó 1.5 millones de bolivianos en consultorías ambientales las cuales recomendaban soluciones a la contaminación ocasionada por las diferentes operaciones mineras circundantes al Lago Poopó. Pero del mismo modo que se mencionó en el párrafo anterior, ninguna solución se ha dado hasta la fecha.

Atacar directa y definitivamente a la fuente de los problemas de contaminación ambiental minera a través de la Creación de un Fondo de Apoyo a la Producción Minera Más Limpia es el objetivo del presente artículo.

*<sup>1</sup>El pasado año, la Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales encargó varios estudios, pero la mayoría de las consultoras apenas hizo simples diagnósticos y una descripción del problema, lo que no justifica los recursos desembolsados. Hay dos estudios sobre la población de pumas que se devoran a los camélidos, pero hasta ahora no se pudo cuantificar a cuánto asciende, ni siquiera hay una aproximación.*

#### **Consultorías hacen trabajos de dudoso resultado**

*La Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura gastó el pasado año 1,5 millones de bolivianos en consultorías cuyos resultados son dudosos porque tienen varios errores o son simples diagnósticos. Los proyectos realizados se encuentran clasificados como contaminación del agua, aire, suelo y alternativas de mitigación de medio ambiente.*

*Los proyectos incluidos en el Plan de Acción Ambiental del Departamento de Oruro (PAADO) son: Proyecto dique de colas en el río San Juan de Sora Sora, Gestión de la cuenca del Salar de Coipasa, Gestión de la cuenca baja del río Desaguadero, Proyecto de mitigación del impacto de aguas contaminadas en el río Antequera, Mitigación del impacto de aguas contaminadas en el río Poopó, Planta para el tratamiento de aguas residuales de la población de Huanuni, Proyecto de remediación del drenaje ácido de roca (DAR) por desmontes y colas en la ciudad de Oruro y el Proyecto de Tratamiento de aguas ácidas de la mina San José...*

## **2. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD MINERA EN EL PAÍS**

Bolivia posee ingentes riquezas minerales en el occidente y el oriente de su territorio en donde se explotan yacimientos de Plata, Plomo, Zinc, Estaño, Oro, Antimonio, Wolfram, Cobre, etc. Es de conocimiento general que toda actividad minera ocasiona impacto ambiental negativo a su entorno natural. Un ejemplo es la emisión de aguas fuertemente ácidas y cargadas de iones de metales pesados, que salen de sus bocaminas, desmontes y colas a los ríos. Esa es la razón por la que todo proyecto minero generalmente amerita realizar un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, por ser considerados dentro de la Categoría más alta de Riesgo de Impacto Ambiental, la Categoría I.

---

<sup>5</sup> La Prensa, Sección Oruro, 28 Mayo 2006

Desde la implantación de la Ley 1333 del Medio Ambiente en 1992, de manera especial las empresas mineras medianas han enmarcado sus actividades dentro de la misma.

Asimismo, se ha verificado que las empresas mineras chicas y cooperativas mineras hasta la fecha no logran adecuar sus actividades dentro de la Ley de Medio Ambiente y son las principales generadoras de impacto ambiental altamente negativo. ¿Cuáles son los motivos? Podrían citarse los siguientes:

### **2.1. Baja disponibilidad de capitales de operación destinados a la producción minera. (Minería chica o Cooperativizada)**

La baja o casi nula disponibilidad de capitales destinados a la producción de la minería chica y cooperativizada, coadyuva a que esta minería difícilmente pueda acceder a la elaboración de proyectos minero-metalúrgicos completos que estén enmarcados en la Ley 1333 de Medio Ambiente, debiendo los productores enfocar sus prioridades a la necesidad de obtener minerales y capitalizar su pequeña empresa, sin dar la atención adecuada a las consecuencias ambientales y de Seguridad laboral que pudiera generar. De ese modo las necesidades de adecuación ambiental son postergadas para una oportunidad futura, lejana y quizás remota.

Dar solución a la falta de capitales para invertir en adecuación y/o mitigación ambiental en el sector minero chico o cooperativizado no ha sido considerado en el ámbito gubernamental. Algunos países y Organismos cooperantes asociados con las autoridades ambientales competentes han dado pasos positivos hacia el cumplimiento de las políticas ambientales del país. Pese a ello, no se ha logrado convencer a la gran mayoría de los productores mineros sobre la gran importancia de invertir en el cuidado del medio ambiente.

### **2.2. Falta de medios logísticos y recursos humanos en los Organismos competentes para la fiscalización del cumplimiento del RAAM.**

Esta situación, sumada a la baja capacidad logística, económica y de recursos humanos de los Organismos Ambientales Competentes - las cuales no les permiten cumplir con sus funciones de fiscalización exigidas por el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, y tampoco les permite brindar orientación a los actores mineros- dan como resultado una contaminación ambiental de las cuencas y territorios vecinos a las minas en magnitudes difíciles de controlar.

Esta aseveración se ha hecho más palpable aún durante los últimos dos años, tiempo en que el precio de casi todos los metales ha sufrido un alza sin precedentes y que aún no se detiene. Años en que los productores mineros han retornado masivamente a rehabilitar sus centros mineros otrora abandonados. Entonces ... ¿Qué futuro le espera a la

población circundante a los centros mineros? ¿Y cuál será el futuro de las cuencas afectadas por las actividades mineras? Sabiendo que la contaminación ambiental minera no solo afecta al país que la produce ¿Continuarán otros países sufriendo la contaminación minera de siempre?

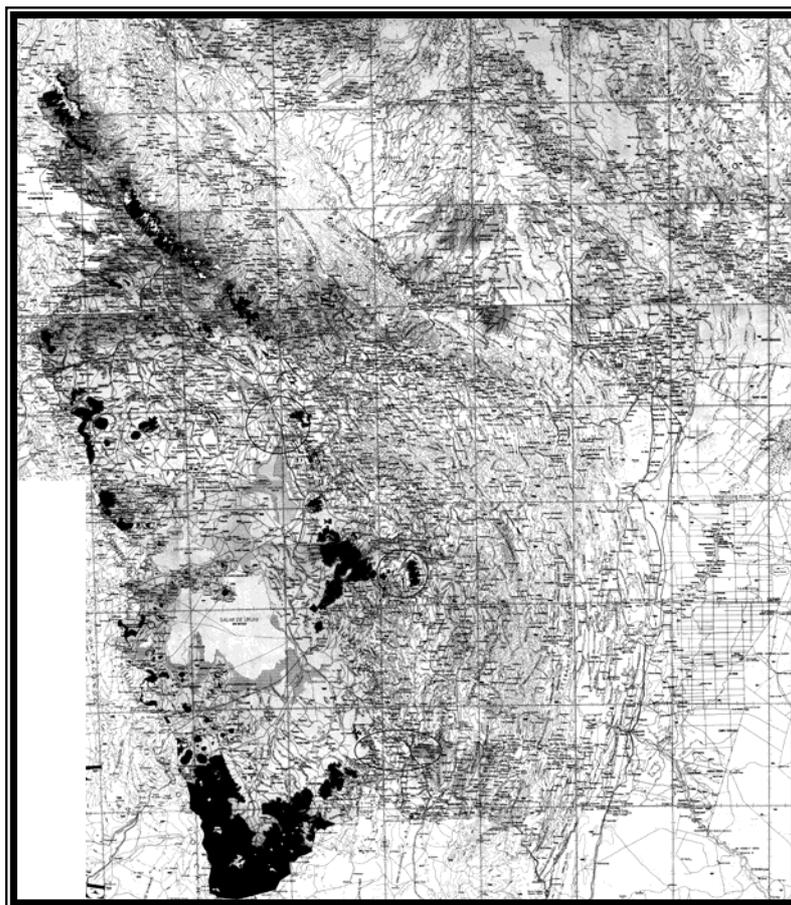
Algunos requerimientos que deberían ser cubiertos por las Autoridades Ambientales Competentes son:

- (a) Necesidades logísticas para ejecutar sus actividades de control de la calidad del medio ambiente en sus jurisdicciones,
- (b) Capacitación de operadores mineros,
- (c) Incorporación de un mayor número de recursos humanos capacitados y destinados al Control de la Calidad Ambiental en el Área de producción minera.
- (d) Capacitación de los técnicos ambientales, especialmente de los niveles dependientes de las Prefecturas y de los Municipios.
- (e) Apoyar económicamente a la creación del FONAPROMIN-ML como un organismo descentralizado del Gobierno.

**- POR LO CUAL, SE HACE NECESARIO CUBRIR ESTAS DEBILIDADES A TRAVÉS DEL USO DE MEDIOS ECONÓMICOS Y TECNOLÓGICOS -**

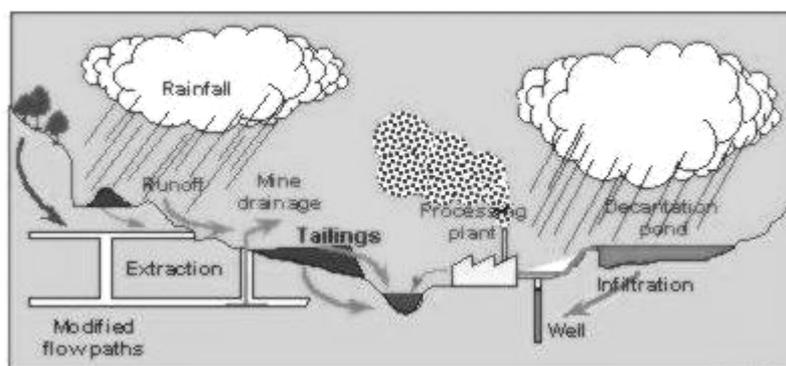
Una representación gráfica de las áreas afectadas por la contaminación ambiental se muestra en la Fig. 1, Mapa del Occidente boliviano, en donde se observan tres zonas mineras claramente identificadas, cuyas actividades mineras y cuyos residuos mineros afectan a cuerpos acuíferos de grandes dimensiones, sino continentales. De norte a sur, Cuenca del Lago Poopó fuertemente afectada por la actividad minera realizada en los Distritos de Oruro, Huanuni y Poopó. En la parte central y sur está la Cuenca del río Pilcomayo afectada por las actividades mineras circundantes a la ciudad de Potosí, y por las minas ubicadas alrededor de la ciudad de Tupiza.

Actualmente existen aproximadamente más de 300 Socios afiliados a las Cámaras de Mineros Chicos de Potosí y Oruro, y decenas de miles de afiliados a las Cámaras Departamentales de Cooperativas Mineras en todo el país, trabajando sus minas en toda la faja occidental boliviana, con medios insuficientes para encarar su producción en sí, y menos aún para adecuar sus operaciones mineras a la Ley 1333 del Medio Ambiente.

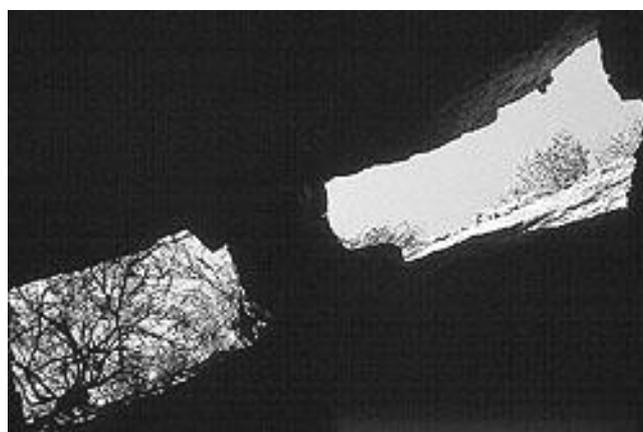


**Figura 1 - Mapa de actividades mineras en el Occidente Boliviano**

**MODELO DE TRANSFERENCIA DE LA CONTAMINACIÓN MINERA**



**Figura 2 - Esquema de contaminación minera por generación de aguas ácidas y arrastre de residuos mineros hacia los cuerpos de agua**



**Foto 1 - Impacto ambiental al paisaje y a la estabilidad de la superficie terrena**



**Foto 2. Impacto ambiental al suelo y agua por generación de aguas ácidas. Derecha, Lago Poopó**



**Foto 3 - Impacto ambiental al factor aire-suelo y agua ocasionado por las emisiones de gases de las plantas de fundición. Arriba, vista parcial de la Planta de Fundición de Vinto**

### **3. ANTECEDENTES**

Los Fondos económicos con participación logística, de recursos humanos y económicos de los países miembros varían de acuerdo a objetivos e intereses comunes. Su creación data desde tiempos posteriores a la 2da. Guerra Mundial.

Algunos objetivos pasaban desde:

- Garantizar la estabilidad de las monedas de los países miembros, Promocionar la cooperación monetaria internacional y facilitar el crecimiento equilibrado del comercio mundial, Fondo Monetario Internacional,
- Dar asistencia médica y establecer programas de bienestar de la población infantil de todo el mundo, UNICEF.
- Préstamos de dineros a los países en vías de desarrollo orientados a mejorar la producción agrícola y promover los empleos agrícolas, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, FIDA,
- Impedir el deterioro del Medio Ambiente a través del impulso del Desarrollo Sostenible, la conservación de los Recursos Naturales y el Mantenimiento de la Biodiversidad, Fondo Mundial para la Naturaleza (World Wide Fund for Nature, WWF).

Como se puede observar en los párrafos mencionados anteriormente, estos Fondos tienen puntos en común, los cuales son:

- La participación económica de forma voluntaria y comprometida de Gobiernos, instituciones públicas, empresas y personas las cuales están identificadas con principios y fundamentos comunes.
- Gestiones exitosas y obtención de resultados de alto beneficio para la humanidad.
- Organización administrativa eficaz, y funcionamiento transparente a través de Directorios establecidos de mutuo acuerdo.
- El éxito de las mismas se refleja en el funcionamiento y crecimiento continuo de estas organizaciones, y en el apoyo económico que éstas gozan por parte de países cooperantes.
- Flujo de montos de cooperación en el orden de los cientos de millones de dólares.

### **4. OBJETIVO DEL PLAN**

La creación del FONAPROMIN-ML deberá tener los siguientes pilares fundamentales:

1. Otorgar créditos financiando la construcción de Proyectos ambientales de los mineros chicos y cooperativizados para:

- Lograr la adecuación ambiental de sus propiedades mineras.
- Liberar de los actuales impactos ambientales y en forma efectiva a las áreas afectadas por la actividad minera.

Estos créditos consistirán en dotación de equipo pesado, materiales de construcción y asistencia técnica especializada.

2. Los créditos deberán ser blandos, esto es, con intereses bajos.
3. Los créditos serán de carácter rotativo, para lo cual se debe:
  - Crear una conciencia de solidaridad con los vecinos a su operación minera y a otros compañeros de rubro.
  - Crear una conciencia de cumplimiento y apoyo a las políticas ambientales del país.
  - Otorgar carácter de sostenibilidad al apoyo económico prestado por el FONAPROMIN-ML

## **5. BASES TÉCNICAS Y SOCIOECONÓMICAS DEL FONAPROMIN – ML**

El FONAPROMIN-ML funcionará bajo los siguientes fundamentos:

### **Solidaridad Social:**

- El FONAPROMIN-ML será un organismo autónomo del gobierno, y tendrá un carácter de apoyo económico y social que funcione bajo los reglamentos vigentes en la Superintendencia de Bancos de Bolivia.
- Debido a que el FONAPROMIN-ML brindará apoyo al desarrollo del país, el Gobierno central deberá proporcionar como contraparte la guía Técnica proveniente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y del Ministerio de Minería.
- En base a la gran cantidad de Proyectos y Consultorías realizadas por el Ministerio de Minería, Viceministerio de RR.NN. y Medio Ambiente, Direcciones de RR.NN. y Medio Ambiente de las Prefecturas del país, las cuales requieren solamente de un apoyo económico para su ejecución, se debería seleccionar aquellos proyectos que requieren de una ejecución prioritaria, y posteriormente se debe buscar el apoyo de países afectados por la contaminación, de países y organismos cooperantes, y de otros que aún no actúan en el país para la obtención de fondos económicos. Asimismo, se invitará a las empresas mineras grandes de Bolivia para que formen parte de una canasta de cooperantes.

**Técnicos:**

- Los productores mineros chicos y/o cooperativizados que demuestren una voluntad comprobada de cumplimiento de la Ley 1333 en sus centros de producción, accederán a créditos blandos orientados a apoyarle en la adecuación ambiental de sus operaciones mineras. Obviamente, previa presentación de proyectos ambientales factibles y aprobados por la AAC.
- El FONAPROMIN-ML buscará socios o alianzas estratégicas (Universidades, Sociedad de Ingenieros de Bolivia, Organismos de Investigación del Medio Ambiente) para brindar apoyo técnico a los productores mineros chicos y/o cooperativizados.
- El FONAPROMIN-ML proporcionará apoyo a los productores mineros chicos y/o cooperativizados en maquinaria, materiales de construcción y acceso a tecnologías de construcciones civiles ambientales bajo normas internacionales.

**Económico:**

- Los créditos que el FONAPROMIN-ML otorgue estarán enmarcados en la Reglamentación establecida por la Superintendencia de Bancos.
- Los intereses serán bajos.
- El fondo será rotativo y solidario.
- Una vez que los beneficiarios de estos créditos se hayan adecuado ambientalmente, pasarán a formar parte de la canasta de cooperantes con aportes voluntarios.
- Las garantías exigidas al Minero chico o cooperativizado para acceder a un crédito, será la hipoteca de su propiedad y equipo minero.

**Sostenibilidad:**

- El pago de los créditos recibidos por parte de los mineros chicos y cooperativizados estará garantizado, debido a la constante subida en el precio de los minerales y demanda mundial de los metales.

**6. ACTIVIDADES Y PROYECTOS APOYADOS POR EL FONAPROMIN – ML**

El FONAPROMIN-ML apoyará las siguientes actividades mineras:

**Construcciones Civiles:**

- De Diques de colas
- Sistemas de tratamientos de aguas ácidas de mina
- Mejoras en las instalaciones básicas de las Plantas de tratamiento de minerales.
- Canales de drenaje de aguas de mina.

### Asesoramiento Técnico:

En la elaboración y ejecución de:

- EMAP's
- Fichas ambientales
- Planes de Prevención y Mitigación Ambiental
- Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental.

### 7. ACTORES PRINCIPALES. RESPONSABILIDADES

Los actores principales involucrados en el FONAPROMIN-ML serán:

ACTORES	RESPONSABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Países cooperantes</li> <li>• Organismos cooperantes</li> <li>• Empresas Privadas</li> <li>• Productores mineros Medianos y Grandes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyar económicamente al fondo</li> <li>• Fiscalizar el uso de los fondos</li> <li>• Proporcionar tecnología existente en sus países</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productor Minero Chico y/ó Cooperativizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar el proyecto de adecuación ambiental de su operación minera bajo las normas técnicas y de calidad más estrictas.</li> <li>• Honrar y cubrir sus compromisos de pago con FONAPROMIN-ML por el crédito otorgado.</li> <li>• Apoyar económicamente al fondo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Desarrollo Sostenible</li> <li>• Ministerio de Minería</li> <li>• Prefecturas</li> <li>• Municipios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyar al FONAPROMIN-ML con el Control de Calidad Ambiental y Fiscalización en las áreas de producción minera.</li> </ul>

### 8. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

La creación de un Fondo de Producción Minera Más Limpia FONAPROMIN-ML en el ámbito nacional y la puesta en marcha del mismo generará los siguientes resultados:

- Impacto ambiental positivo en los lugares donde el FONAPROMIN-ML esté prestando apoyo.
- Disminución del impacto ambiental minero en los lugares donde abarquen sus actividades, abriendo la posibilidad de proyectos futuros para la remediación ambiental y mejora del medio ambiente.

Ejemplo. Remediación ambiental del Río Pilcomayo y del Lago Poopó. No se debe olvidar que causar impacto ambiental positivo no sólo afecta al área inmediata de acción o cuencas menores, sino también a las cuencas mayores dependientes de éstas.

- Aumento en la credibilidad del país y atracción de grandes capitales de inversión extranjeros.
- Accesibilidad de los operadores mineros que se hayan adecuado ambientalmente hacia el apoyo económico de las instituciones bancarias.
- El crecimiento y sostenibilidad del FONAPROMIN-ML estaría garantizado y destinado a crecer, por la gran aceptación que tendría a todo nivel, tanto de cooperantes como de los productores beneficiados con la cooperación.

Por lo cual, se recomienda a AECI y a CYTED:

- **LANZAR ESTE DESAFÍO A PAÍSES AMIGOS DEL MEDIO AMBIENTE, Y BUSCAR LA CONCRECIÓN DE ESTE PLAN EN SU ÁREA DE ACCIÓN ACTUAL..., BOLIVIA -**

## **CYTED**

### **Secretaria General**

Secretario - General : **Fernando Aldana**, España .  
Secretário - Adjunto : **Leonardo Uller**, Brasil  
Secretário - Adjunto: **Fernando Gutiérrez**, Costa Rica  
Director Técnico : **Esteban Manrique**, España  
Coordenador Area Industria : **Roberto Cunninham**, Argentina  
Coordenador Iberoeka: **José Ramón Perán**, España

### **Areas Tematicas**

Agroalimentación: Subprogramas II: ACUICULTURA , XI: TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS y XIX: TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS.

Salud:Subprogramas III: BIOTECNOLOGÍA y X: QUÍMICA FINA FARMACÉUTICA.

Promoción del Desarrollo Industrial :Subprogramas IV , V: CATALIZADORES Y ADSORBENTES PARA EL MEDIO AMBIENTE Y CALIDAD DE VIDA, VIII: TECNOLOGÍA DE MATERIALES, XIII: TECNOLOGÍA MINERAL y XV: CORROSIÓN E IMPACTO AMBIENTAL SOBRE MATERIALES.

Desarrollo Sostenible:Subprogramas VI: NUEVAS FUENTES Y CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA., XII: DIVERSIDAD BIOLÓGICA, XIV: TECNOLOGÍA DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL, XVII: APROVECHAMIENTO Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, XVIII: TECNOLOGÍAS DE PREVENCIÓN Y EVALUACIÓN DE DESASTRES NATURALES.

Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:Subprogramas VII: ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA APLICADA y IX: MICROELECTRÓNICA.

Ciencia y Sociedad :Subprograma XVI: GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO.

### **CYTED XIII**

<http://www.cetem.gov.br/cyted-xiii>

#### *Coordinadores Internacionales*

Roberto C. Villas-Bôas (desde 1998)  
Lelio Fellows Filho (1986 a 1996)

#### CNPq

*Erney F. Plessmann de Camargo*  
Presidente

*Manuel Domingos Neto*  
Vice-Presidente

*Felizardo Penalva da Silva*  
Chefe de Gabinete da Presidência

*Manoel Barral Netto*  
Dir. de Programa Témáticos e  
Setoriais

*José Roberto Drugowich de Felício*  
Dir. de Programas Horizontais e  
Instrumentais

*Gilberto Pereira Xavier*  
Diretoria de Administração

*Maria Lucilene A. Barros Velo*  
Assessoria de Cooperação.  
Internacional

**Outros livros de interesse:**

**<http://w3.cetem.gov.br/cyted-xiii>**

Zero Emission

Roberto C. Villas Bôas & James R. Kahn, Eds.

IATAFI & CETEM Publishers, 1998

Technological Challenges Posed by Sustainable Development

Roberto C. Villas Bôas & Lelio Fellows Filho, Eds.

CYTED & IMAAC Publishers, 2000, ISBN 857227129-5

Cierre de Minas: Experiencias en Iberoamerica

Roberto C. Villas-Bôas & Maria Laura Barreto, Eds.

CYTED & IMAAC Publishers, 2001, ISBN 857227132-5

Cantera Escuela en Iberoamerica

Roberto C. Villas Bôas & Gildo Sá, Eds.

CYTED & CNPq Publishers, 2001, ISBN 85-7227-142-2

Land Use in Mining

Roberto C. Villas-Bôas & Roberto Page, Eds.

CYTED, SEGEMAR & CNPq Publishers

Mercury in the Tapajos Basin

Roberto C. Villas-Bôas, Christian Beinhoff & Alberto Rogério da Silva, Eds.

UNIDO & GEF Publishers, 2001, ISBN 85-7227-148-1

La Minería en el contexto de la ordenación del territorio

Roberto C. Villas Bôas, Roberto Page, Eds.

CNPq/CYTED, 2002, ISBN 85.7227-147-3

Indicators of Sustainability for the Mineral Extraction Industry

Roberto C. Villas-Bôas & Christian Beinhoff, Eds.

UNIDO & GEF Publishers, 2002, ISBN 85-7227-164-3

Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Minera

Roberto C. Villas-Bôas & Christian Beinhoff, Eds.

UNIDO & GEF Publishers, 2002, ISBN 85-7227-164-3

Patrimonio Geológico y Minero en el Contexto del Cierre de Minas

Roberto C. Villas-Bôas, Arsenio González Martínez, Gildo de A. Sá C. de

Albuquerque - CETEM & CYTED Publishers, 2002, ISBN 85-7227-168-6

Pequeña Minería y Minería Artesanal en Iberoamérica • Conflictos •

Ordenamiento • Soluciones

Roberto C. Villas Bôas; Ana Maria Aranibar

CETEM, CNPq & CYTED Publishers, 2003, ISBN 85-7227-185-6

IBEROEKA EN MÁRMOLES Y GRANITOS: mini-foro realizado em Salvador,

Bahia, 3-6 abril/2003 / Roberto C. Villas-Bôas; Benjamin Calvo ; Carlos

César

CETEM, CNPq & CYTED Publishers, 2003, ISBN 85-7227-195-3

- APELL para minería guía para la industria minera a fin de promover la concientización y preparación para emergencias a nivel local  
Rio de Janeiro - CETEM/CYTED Publishers, 2004, ISBN 85-7227-197-X
- Problemas Emergenciales Y Soluciones APELL, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia – 5-9 de julio de 2004/ Roberto C. Villas-Bôas; Cristina Echavarría, Jorge Ellis, Diego Masera eds. - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED-XIII/MPRI/IDRC/AECI/UNESCO, 2004, ISBN 85-7227-200-3
- Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações  
Vidal Felix Navarro, Carlos Diniz da Gama, Roberto C. Villas Boas, eds. CETEM/CYTED – 2005, ISBN 85-7227-210-0
- A Review on Indicators of Sustainability: for the mineral extraction industries  
Eds. Roberto C. Villas Boas, Débora Shields, Šlavko Solar, Paul Anciaux, Güven Önal Rio de Janeiro: CETEM/CNPq/CYTED/IMPC, 2005, ISBN 85-7227-222-4
- Mineração em terras indígenas: a procura de um marco legal  
Hariessa C. Villas Bôas – Eds. Villas Boas, Roberto C., Martinez, Arsênio Gonzalez Rio de Janeiro: CETEM/CNPq/CYTED/UIA, 2005, ISBN 85-7227-223-2
- Plan Estratégico De Comunicación (PEC), Para La Industria Minera Argentina  
Hugo Daniel Fernández – Eds. Villas Boas, Roberto C., Martinez, Arsênio Gonzalez, CETEM / MCT / CNPq / CYTED, 2006, ISBN 85-7227-228-3
- Ordenación Del Territorio y La Industria Extractiva Minera En El Peru  
Iñigo Diego Aspillaga-Plenge - Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / CYTED / UIA, 2006, ISBN 85-7227-229-1
- Polo de promoción minero ambiental en el contexto de la agenda local 21: Península de Santa Elena (Ecuador) / Maurício Cornejo Martínez - Rio de Janeiro: CETEM/MCT/ CNPq / CYTED / UIA, 2006, ISBN 85-7227-230-5
- Planejamento estratégico, competitividade e sustentabilidade na indústria mineral: Dois casos de não metálicos no Rio de Janeiro / Gilberto Dias Calaes - Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / CYTED, 2006, ISBN 85-7227-232-1

Fotos da Capa:

Sites: [www.superhid.gov.bo](http://www.superhid.gov.bo)

<http://portal.gasnatural.com>

