

Distr.  
RESTRINGIDA

LC/R.980  
5 de abril de 1991

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

MEDIO AMBIENTE Y MINERIA: METODOS MODERNOS  
DE BENEFICIO DEL ORO \*/

---

\*/ El presente trabajo fue preparado por la División de Recursos Naturales y Energía de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) para el "I Seminario Nacional Minero-Ambiental", Bogotá, Colombia, 13-15 de marzo de 1991.

Este documento no ha sido sujeto a revisión editorial.

91-4-455

## INDICE

	<u>Página</u>
I. CARACTERISTICAS BASICAS DE LA AMBIVALENCIA ENTRE LA CONSERVACION Y EL MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA EXPLOTACION DE LOS RECURSOS NATURALES .....	1
1. El desarrollo de ecosistemas sustentables .....	7
2. Metodologías de los estudios de impacto ambiental (EIA) .....	9
3. Hacia una metodología de desarrollo integral ....	10
II. LOS PRINCIPALES EFECTOS CONTAMINANTES DE LA EXPLOTACION MINERO-METALURGICA .....	12
III. LA IMPORTANCIA DE LA EXPLOTACION AURIFERA .....	15
1. Reservas y tendencias de la oferta y la demanda. La variación y tendencia de los precios .....	15
2. El proyecto de monetarización de los metales preciosos en América Latina .....	16
IV. PRINCIPALES METODOS DE BENEFICIO AURIFERO Y SUS EFECTOS CONTAMINANTES .....	19
1. Los principales metodos utilizados: amalgamación, concentración gravimétrica, flotación, tostación, y cianuración .....	19
2. Nuevos métodos de beneficio: oxidación, carbón activado, fusión-absorción atómica, propulsión electro-molecular .....	21
Notas .....	22
Bibliografía .....	23

I. CARACTERISTICAS BASICAS DE LA AMBIVALENCIA ENTRE  
LA CONSERVACION Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO  
AMBIENTE Y LA EXPLOTACION DE LOS  
RECURSOS NATURALES

Durante siglos el hombre no ha valorizado el impacto que en el medio ambiente y en la menor disponibilidad de recursos naturales, ha causado el proceso de la transformación de estos recursos en bienes de uso final.

Si bien las teorías y los seguidores malthusianos, llamaron la atención sobre el mayor crecimiento relativo de la población, y por lo tanto de sus requerimientos de bienes finales, la mayor abundancia absoluta de los recursos naturales, ha determinado que la humanidad sólo valore la explotación económica de estos recursos, con la ilusión que podría "darse el lujo" de perder o derrochar estos recursos, mediante explotaciones ineficientes, o con deterioro del medio ambiente.

En las últimas décadas, la rápida expansión de la explotación de los recursos naturales, sin precedentes históricos, ha sido también acompañada de un acelerado deterioro del medio ambiente, causando graves situaciones, ya que ambos aspectos rompen el equilibrio de la organización y del flujo energético que interrelacionan elementos de la naturaleza orgánica y elementos de la naturaleza inorgánica.

La pluralidad de casos que se presentan sobre graves aspectos de contaminación ambiental y deficiencias en la administración del manejo de los recursos naturales, está determinando que la valorización de estos aspectos evolucione en forma acelerada, de tal manera que cada vez existe mayor conciencia de que la mayor satisfacción de las necesidades sociales de una población creciente deberá basarse en gran medida en el rediseño de cómo la sociedad deberá utilizar, explotar y reproducir los recursos naturales, disminuyendo o evitando los efectos contaminantes del medio ambiente.

El análisis o tratamiento del medio ambiente debe comprender un territorio o superficie determinada que puede ser más o menos abiogenética o biogenética que es el resultado de un proceso de interrelaciones de aspectos físicos y movimientos de elementos químicos desde el sustrato geológico hacia los materiales

superficiales y los elementos químicos que la actividad del hombre retorna al aire, las aguas y la tierra. En este contexto, las ciencias geoquímicas por lo tanto, y las actividades mineras deberían constituirse en uno de los temas centrales del análisis de los problemas medioambientales y de la administración del manejo de los recursos naturales. Sin embargo, ni en la teoría o en el análisis pragmático del desarrollo de los recursos naturales, se otorga énfasis a la estrecha relación que debe existir con las ciencias geoquímicas.

En forma simplificada se puede indicar que la importancia de los recursos naturales en la teoría económica y en la teoría del desarrollo, tuvo la siguiente evolución general:

a) Para la Escuela Clásica tuvo una importancia central; es así que David Ricardo, por ejemplo, basó su Teoría de la Renta en las diferencias de distancia existente entre las diferentes explotaciones agrícolas con respecto al centro consumidor. Posteriormente Von Thunen la complementa por las diferencias de productividad de la tierra (aplicable también a los yacimientos mineros).

b) Cuando la teoría se expresa en modelos cuantitativos, tanto en la Escuela Neo-clásica, como en la Keynesiana, las dificultades de "medir" los recursos naturales determinan su eliminación de los modelos y por lo tanto la importancia relativa de estos recursos en la teoría. Cuando se llamaba la atención sobre los mismos, se expresaba que países como Suiza lograron un alto proceso de desarrollo, pese a no contar con recursos naturales, con lo cual se ignoraba parte de la teoría que expresaba que los países debían especializarse en aquellos productos en que tuvieran ventajas comparativas, es decir, en aquellos productos con alta incorporación de los factores de mayor abundancia relativa. Los suizos se especializaron en productos con una alta incorporación de tecnología, posiblemente el recurso de mayor abundancia relativa, pero difícilmente se puede proponer una situación similar para América Latina, cuyos factores relativamente más abundantes, son los recursos naturales.

c) A partir de la década de los 60, diferentes autores reincorporan la importancia de los recursos naturales a la teoría mediante una serie de propuestas de carácter pragmático:

i) Como fuente de generación de divisas netas, de ingresos fiscales y de empleo productivo.

ii) Como una forma de capital-tesoro, cuya explotación permitiría la formación de otras formas de capital reproductivo.

iii) Como la base del desarrollo integral a nivel local, o de micro-región.

iv) Como apoyo al proceso de industrialización: el caso de las cadenas agro-industriales o requiriendo insumos industriales y/o proporcionando insumos a la industria, en el caso por ejemplo de los recursos mineros.

Como se indicó, América Latina con mayor abundancia relativa en recursos naturales, se especializó en las explotaciones de materias primas y en las importaciones de manufacturas, así por ejemplo, la región que cuenta con el 20-25% de las reservas mineras mundiales, participa sólo con el 15% de la producción mundial de productos primarios, con el 10% de los metálicos y semielaborados y sólo con el 5% de los productos terminados. A su vez, los países industrializados que tienen el 50% de las reservas mineras, consumen (utilización industrial) el 75% de la producción mundial.

De esta división internacional del trabajo, América Latina ha resultado totalmente perjudicada por las transferencias de recursos financieros derivados de este intercambio comercial. Así, siguiendo con el ejemplo de los recursos mineros, los términos de intercambio de las exportaciones regionales tuvieron un deterioro del 86% entre 1950 a 1986, con respecto a las importaciones de bienes manufacturados de base minera.

Ante esta situación, un análisis profundo debería dar respuesta al interrogante acerca de si América Latina tendría que seguir especializándose en la exportación de materias primas mediante la explotación de sus recursos naturales, o por el contrario, en el otro extremo de las opciones de desarrollo, debería especializarse en industrias intensivas en tecnología y capital que son los factores relativamente más escasos y que por lo tanto se podría incurrir en costos relativos tan altos que se perderían ingresos en montos similares o mayores a las pérdidas causadas por el deterioro de los términos de intercambio.

Una encuesta efectuada para un grupo de 90 países en desarrollo nos proporciona la siguiente información:

Tasas de crecimiento anual del PIB en 90  
países en desarrollo (%)

	<u>1965-1973</u>	<u>1973-1980</u>	<u>1981-1986</u>	<u>1965-1986</u>
a) Exportadores de manufacturas (agro-industriales y metal-mecánicas)	7.4	6.0	5.8	6.5
b) Exportadores de bienes agrícolas	5.5	4.6	7.1	5.6
c) Exportadores de minerales	7.0	5.7	2.2	5.4
d) Exportadores de hidrocarburos	6.9	6.0	1.0	5.1
e) Países altamente endeudados	<u>6.9</u>	<u>5.4</u>	<u>0.8</u>	<u>4.9</u>
Totales	6.5	5.4	3.6	5.4

Fuente: CEPAL, Minería Año 2000 - América Latina: proyectos mineros y su financiamiento, LC/R.807, 4 de octubre de 1989.

Estas cifras estarían mostrando el mayor desarrollo relativo que han obtenido los países que abandonando el concepto de las ventajas comparativas estáticas, han adoptado el concepto de las ventajas comparativas dinámicas. El proceso se sigue basando en la explotación de los recursos naturales, pero en vez de ser exportados en forma de materias primas, son transformados previamente en bienes industriales.

De acuerdo a un último informe, existen en América Latina alrededor de 200 millones de pobres, o sea el 50% de la población total. Esta cifra estaría indicando que uno de los problemas básicos de la región es un problema de pobreza masiva, que por la magnitud de los recursos financieros que se requieren, no puede ser solucionado con los sistemas asistenciales tradicionales. La solución radicaría posiblemente en la ocupación más productiva de este grupo de la población. Como el recurso relativamente más escaso es el capital, éste tendría que ser sustituido por adecuadas combinaciones de los recursos relativamente más abundantes: mano de obra y recursos naturales.

La administración de los recursos naturales confronta dos limitaciones básicas: la identidad que debe existir entre las tasas de explotación y las de reposición en el caso de los recursos renovables, y el costo ambiental que implica la explotación de los recursos naturales. Estas situaciones determinan también la necesidad de profundizar el análisis sobre las interrelaciones que existen entre los diferentes aspectos planteados:

a) La explotación de los recursos naturales con la producción e industrialización de las materias primas destinadas básicamente a la exportación.

b) La solución del problema de pobreza masiva mediante la ocupación de la mano de obra en la explotación de los recursos naturales.

c) El costo/beneficio de la explotación de los recursos naturales con el costo/beneficio ambiental y el costo/beneficio social.

El análisis indicado, que podría ser iniciado a niveles abstractos, tendría que ser complementado con los correspondientes a los análisis en el contexto concreto de unidades territoriales específicas, lo que a la postre llevaría a la necesidad del tratamiento teórico-práctico de los ECOSISTEMAS SOCIO-AMBIENTALES. Este planteamiento no implica una proposición de un "desarrollo hacia adentro" versus un "desarrollo hacia afuera de base tecnológica", sino que trata de llamar la atención sobre la necesidad de lograr un mejor balance analítico sobre ambos aspectos, a fin de lograr el cumplimiento de la propuesta esencial: iniciar un proceso de transformación productiva con equidad.

En el contexto de este planteamiento, el análisis del desarrollo de los recursos mineros debe basarse en los siguientes aspectos principales:

a) Incrementar el conocimiento de las reservas mineras. Se considera que el conocimiento de las reservas probadas de América Latina cubren menos del 10% del territorio potencialmente minero.

b) Mejorar los procedimientos de extracción y beneficio de los minerales a fin de permitir mayores tasas de recuperación y el aprovechamiento integral de los subproductos.

c) Aplicar tecnologías no contaminantes y efectuar el aprovechamiento económico de los resultados y residuos químicos de los procesos de producción, especialmente de aquéllos que en forma de desechos son altamente contaminantes.

d) Evitar formas de producción que disminuyan o eliminen la disponibilidad o reproducción de otros recursos naturales.

e) El agotamiento de estos recursos no renovables debe ser suplido con la formación de otros recursos naturales-renovables, como por ejemplo la forestación de los desmontes mineros.

No existen datos completos sobre la disponibilidad y usos de los recursos naturales en la región. Las siguientes informaciones son extractadas de un trabajo anterior.<sup>1/</sup>

a) El uso actual de la tierra estaría distribuido en la siguiente forma: 9% tierras agrícolas arables; 26% pasturas naturales; 49% bosques y 16% tierras eriales, sin uso o cubiertas por infraestructura no-agrícola.

b) Se estima que las necesidades de expansión de las primeras y de las últimas se efectuaría a costa de una disminución de las tierras de bosques. A pesar que sólo el 65% de las tierras arables son cosechadas anualmente y que estas cosechas son inferiores al potencial obtenible con mejores técnicas de producción, se considera que hacia el año 2000 la tierra arable debería alcanzar al 14% de la superficie total. De la misma manera se estima que la expansión de las tierras ganaderas deberían alcanzar al 34%.

c) La tierra destinada a usos no-agrícolas se incrementaría de 16 a 18% durante esta década.

d) Los anteriores requerimientos estarían determinando que la superficie destinada a las reservas forestales, llamadas los "pulmones verdes del planeta" disminuirían del 49 al 35% de la superficie total de la región, lo que determina la urgencia de evitar una mayor contaminación del aire.

e) Se estima la superficie ocupada por los bosques en cerca de 1.000 millones de hectáreas, de las cuales 68% están constituidas por bosques denso-tropical, 8% por bosques denso-templados y el 24% por bosques ralos, los que podrían ser reforestados para evitar la fuerte disminución de este recurso.

f) Actualmente sólo se utiliza el 3% de los recursos hídricos y el 8% del potencial hidroeléctrico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el 80% de la población urbana es abastecida con agua potable, mientras que esta cobertura sólo alcanza al 30% de la población rural.

g) El potencial pesquero de los mares adyacentes al continente se estima en 34 millones de T.M. de los cuales sólo se explota el 23%. Sin embargo, la sobre-explotación de ciertas especies, como la anchoveta están reduciendo notablemente las disponibilidades futuras.

h) La composición de las fuentes actuales de energía eléctrica contrasta con la composición del potencial energético para este fin. En el primer caso el origen de las fuentes son: hidráulica

58%, térmica 41%, otros 1%. En cambio, el potencial está constituido por: 67% hidráulica; 21% hidrocarburos; 6% carbón y 6% otros recursos, situación que determina un agotamiento relativamente más rápido de los recursos precisamente no-renovables: los hidrocarburos.

### 1. El desarrollo de ecosistemas sustentables

En forma estática se puede entender por ecosistema al conjunto básico de seres orgánicos e inorgánicos de una región determinada, esto es, el espacio aéreo, la superficie, el subsuelo y las plantas, animales y minerales que los contienen. Si en esta región existen asentamientos humanos, se estaría ante un "ecosistema social". El peso seco total de los bienes orgánicos e inorgánicos por unidad de superficie recibe el nombre de biomasa o patrimonio ambiental, mientras que la cantidad de biomasa lograda en un período de tiempo se denomina producto o rendimiento y la relación entre este producto con respecto al patrimonio toma el nombre de productividad.

En forma dinámica se podría conceptualizar al ecosistema como la organización de una cadena de energía creativa y alimenticia que se va transfiriendo entre los miembros de un conjunto de seres orgánicos e inorgánicos. La introducción de elementos nocivos o en cantidades no adecuadas en las cadenas energéticas, rompe el equilibrio de su organización, produciéndose daños ecológicos que implican no sólo la eliminación de los factores contaminantes sino también la restitución de la interrelación previamente existente.

Las interrelaciones de las cadenas energéticas están sujetas a leyes ecológicas, las que pueden ser comprendidas, como se indicó anteriormente, a través de las ciencias geoquímicas y biogenéticas.

La humanidad de antaño, en el contexto de su conocimiento tecnológico "trató de lograr el máximo" producto del patrimonio ecológico disponible a tasas que inclusive llegaron a disminuir dicho patrimonio. Una demanda que creció a tasas mayores que las del producto, se constituyó a la postre en uno de los factores básicos de la caída de las grandes civilizaciones que fueron sustituidas por nuevas formas de demanda, nuevas técnicas de producción y la incorporación de nuevos ecosistemas.

Los rápidos procesos de industrialización y de urbanización han determinado en la actualidad rápidas tasas de crecimiento del producto, con altas tasas de productividad en muchos casos, pero acompañadas también de nuevos procesos de agotamiento de diferentes patrimonios ecológicos, agravados por la introducción de elementos nocivos y contaminantes emergentes de los nuevos patrones de consumo y procesos de producción. En otras palabras, la civilización actual tiene mucho éxito en incrementar la producción, incorporando nuevos patrimonios ecológicos, un menor éxito relativo

en los aumentos de productividad en detrimento de una baja restitución de los patrimonios utilizados y de agudos rompimientos de los equilibrios de la organización ecológica de las cadenas energéticas. A esta situación de desequilibrio ecológico, se debe agregar el desequilibrio social derivado de la situación que se presenta por la fuerte concentración del uso del producto en pocos países o estratos sociales, mientras que el daño ecológico se distribuye más equitativamente.

La población y las necesidades sociales seguirán creciendo en forma constante y acelerada, por lo que el desarrollo del patrimonio ecológico que pueda "sustentar" dicha demanda para el presente y el futuro, tendría que basarse en los siguientes planteamientos prioritarios:

a) Restituir el equilibrio de la organización de las cadenas energéticas.

b) Disminuir y eliminar de los patrones de consumo y de producción los elementos nocivos contaminantes.

c) Incrementar el patrimonio ecológico existente.

d) Incrementar la productividad de este patrimonio mediante el mejoramiento de la administración del manejo de los recursos naturales.

e) Incorporar a la producción nuevos patrimonios ecológicos.

Se puede observar que uno de los componentes básicos del cumplimiento de los propósitos anteriores, es la aplicación de las tecnologías de avanzada. En cambio, la restauración del equilibrio social, es muy posible que tenga que pasar por un complejo proceso cuyo resultado final sea el cambio de actitud del hombre desde una posición agresiva y competitiva de obtener para sí el mayor producto posible, por una actitud de solidaridad de compartir con las futuras generaciones y con los desposeídos de esta generación, tanto el patrimonio ecológico, como los resultados o producto de la explotación de dicho patrimonio.

Como se ha observado anteriormente, América Latina cuenta todavía con un gran patrimonio o riqueza natural, sin embargo su población no solo crece aceleradamente, sino que la mayor parte de ella no ha logrado siquiera satisfacer sus necesidades básicas de nutrición, salud, educación, vivienda y saneamiento básico, por lo que es posible que el balance entre recursos disponibles y necesidades sociales básicas, no sea tan positivo, por lo que la región deberá transitar el mismo camino del resto del mundo: explotar racionalmente sus recursos, incrementar el patrimonio natural para beneficio de las generaciones futuras, eliminar los

elementos contaminantes y restituir el equilibrio de las cadenas energéticas en aquellas áreas o especies que están seriamente dañadas.

## 2. Metodologías de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA)

El mayor conocimiento y toma de conciencia de las interrelaciones entre los actuales patrones de producción y consumo con el deterioro del medio ambiente seguirán motivando a que la humanidad acentúe el debate sobre el futuro del desarrollo económico y la evolución de la sociedad.

Uno de los temas centrales de este debate será indudablemente la administración del uso y la conservación de los recursos naturales, y entre ellos la de los recursos mineros por el impacto acumulativo del proceso de producción sobre el medio ambiente, su participación en las reacciones químicas de las cadenas energéticas y su participación en los patrones de consumo.

De esta manera en el análisis de las relaciones entre el desarrollo de los recursos mineros y el medio ambiente, se debe contar con metodologías que permitan:

- a) Identificar el impacto ambiental de los procesos de producción.
- b) Definir el costo-beneficio mineroambiental en el corto, mediano y largo plazo.
- c) Seleccionar las tecnologías que optimicen dicha relación.
- d) Definir las opciones de la políticas de acción y consumo.

Entre las principales metodologías que identifican el impacto adverso que sobre diferentes elementos ambientales, ejercen los procesos de producción minera, se pueden mencionar los siguientes:

- a) Estudios de casos específicos sobre los procesos de producción de cada producto minero o de áreas de producción minera.
- b) Estudios de factibilidad de nuevos proyectos de inversión, incluyendo aquellos gastos que permitirán disminuir o eliminar los efectos contaminantes.
- c) Matrices de impacto ambiental en las que se identifican los impactos de las diferentes etapas del proceso de producción sobre la salud, el aire, las aguas, la superficie y la vegetación.
- d) Matrices de identificación de los elementos contaminantes, liberados en las actividades de los procesos de producción.

Como se ha indicado, la producción minera, que la sociedad considera como un beneficio, conlleva un costo ambiental. A su vez, en los costos de la producción minera se pueden incluir gastos que permitan conservar o restituir elementos constitutivos del medio ambiente. En este caso el beneficio no son las variaciones cualitativas o cuantitativas de los elementos ambientales, sino las variaciones del producto actual o futuro, que pueden proporcionar dichos elementos a la sociedad. Por lo tanto este análisis contemplaría un doble propósito: obtener el beneficio de la producción minera al menor costo ambiental, o lograr un beneficio de los otros elementos ambientales al menor costo complementario de la producción minera.

La necesidad de lograr la dualidad de beneficios al menor costo posible, determina adoptar la mejor tecnología posible (MTP). Esto implica largos y costosos procesos de investigación tecnológica y asumir los costos inherentes de la sustitución de inversiones existentes por las nuevas tecnologías.

El análisis debe también facilitar la selección de las políticas de control de los efectos contaminantes, entre ellas por ejemplo políticas: a) de carácter administrativo, como la formulación de medidas legales o institucionales; b) de investigación tecnológica, adopción, adaptación y difusión de la transferencia del conocimiento tecnológico; c) económicas, como subsidios o incentivos tributarios para la adopción de las nuevas tecnologías; d) sociales, como programas de educación, cambios de actitud y consumo.

### 3. Hacia una metodología de desarrollo integral

La especificidad de los problemas de los países más pobres determinó que de las ciencias económicas se derivara la subdisciplina del desarrollo económico. Muy pronto se tuvo conciencia de sus limitaciones en el "tratamiento" de los aspectos sociales del proceso, surgiendo en forma paralela los métodos de análisis del desarrollo social. La necesidad de un tratamiento conjunto de ambas dimensiones derivó en un nuevo paradigma de desarrollo económico y social que al agregársele conceptos de filosofía y psicología social, planteó el esquema del desarrollo social, ya no como una disciplina de análisis de los problemas sociales, sino como un concepto integrador de ambas dimensiones, en la que el sujeto y el objeto del proceso seguiría siendo el hombre pero con un cambio fundamental de una actitud altamente competitiva, hacia una actitud de solidaridad e integración.

Los crecientes problemas de daño ecológico causados por la actividad económico-social del hombre, han planteado la necesidad de crear nuevas disciplinas sobre "la dimensión ambiental del desarrollo", entre las cuales se pueden mencionar los paradigmas

ecologistas de protección del medio ambiente y de la administración de recursos naturales.

Sin embargo, nuevamente la solución de los problemas pragmáticos del desarrollo, no permiten un tratamiento aislado de cada dimensión. Si los problemas reales se presentan en forma integrada, es necesario también contar con un paradigma y metodologías de análisis de carácter integral.<sup>2/</sup>

El nuevo paradigma podría llevar la denominación de "ecodesarrollo social", en el que la ecología y la economía devienen como términos conjuncionados, por lo que el primer término caracteriza tanto los aspectos económicos, como ecológicos. El término social a su vez define que el análisis se refiere a los asentamientos humanos en una unidad territorial o ambiente ecológico, denominado, como se indicó anteriormente como ecosistema social.

La incorporación de la dimensión ambiental no sólo precisa que el análisis deba referirse a un ecosistema específico, sino que la definición de políticas y actividades debe plantearse también en forma integral en el corto, mediano y largo plazo.

Las principales características del ecodesarrollo social que lo diferencian de otros paradigmas ambientales y económicos, serían las siguientes:

a) El proceso de desarrollo se efectúa en las tres dimensiones --económica, social, ambiental-- en forma simultánea, ya que se sostienen mutuamente en un proceso cibernético de autoalimentación.

b) El objeto del proceso no es solamente el hombre, sino el ecosistema, por lo tanto no sólo se debe fijar como meta la satisfacción de las necesidades sociales, sino también el crecimiento del patrimonio ambiental bajo el concepto de "ecologizar la economía" en vez de "economizar la ecología" (conservación de los recursos).

c) La propiedad de los recursos naturales estaría sujeta al principio jurídico del "Res-Nullis" no en su forma negativa de que nadie es dueño de estos recursos, sino que son propiedad de todos los miembros de la sociedad del ecosistema. La concesión del uso y usufructo de los mismos serían otorgados a perpetuidad mientras se cumplan los objetivos básicos de la sociedad: el desarrollo económico-social y ambiental.

d) Tendería a disminuir los costos de la descontaminación ambiental, con la utilización de formas y tecnologías no-contaminantes ("Administrar la salud del ecosistema, en vez de reparar los daños que se producirían por la contaminación").

e) El análisis y la programación del desarrollo se efectuaría básicamente a través de las ciencias económicas, sociales, geoquímicas y de la biotecnología, en vez de solamente las dos primeras.

## II. LOS PRINCIPALES EFECTOS CONTAMINANTES DE LA EXPLOTACION MINERA-METALURGICA

El daño ecológico se inicia potencialmente con la exploración y otorgamiento de las respectivas concesiones mineras, ya que por ejemplo, el suelo puede ser utilizado alternativamente en otras actividades menos contaminantes.

La fase de extracción del mineral implica especialmente efectos dañinos en la salud del trabajador de interior-mina, y en las subsiguientes etapas de concentración y refinación se utilizan o se generan diferentes elementos químicos, que pueden ser altamente nocivos y cuyos desechos se vuelcan en la tierra, las aguas o el aire.<sup>3/</sup>

En una de las principales empresas mineras de la región, se estimaba que el promedio de vida de los trabajadores de interior-mina, era solo de diez años de vida. Las principales causas se derivan del fino polvo que liberan las perforadoras y la emanaciones de gases tóxicos. Otros elementos que actúan sobre la salud de los trabajadores son las radiaciones, la humedad, el calor, la falta de adecuados niveles de aire y luz, el ruido y las vibraciones. A estos efectos se agregan los riesgos industriales, como las caídas de rocas, las obstrucciones de las galerías, explosiones, fuegos, inundaciones, falta de cuidado en el manejo de las maquinarias, ácidos y reactivos.

Gran parte de los minerales metálicos se presentan en forma de sulfuros. La reducción del azufre se efectúa mediante la combinación con el oxígeno, cuyo resultado es el anhídrido sulfuroso, gas altamente contaminante del aire, las aguas y las plantas, principalmente en la forma de la llamada "lluvia ácida".

Otros procesos de concentración, fundición y refinación de especialmente minerales metálicos, emiten gases y residuos del proceso de combustión de carácter tóxico, como por ejemplo los óxidos de hierro, plomo, zinc, cobre, níquel, cadmio, arsénico, selenio, telurio, caronil, gases de mercurio y gases y sólidos de flúor.

La industria minera utiliza grandes volúmenes de agua, en algunos casos de 100 a 300 TM por cada tonelada métrica de mineral. Gran parte de este volumen es reciclado en el mismo proceso de producción, pero otra parte es eliminada, arrastrando en suspensión partículas sólidas de metal, toxinas y venenos como el arsénico, cianuro, mercurio y otros ácidos y reactivos.

Especialmente en los pórfidos, el contenido del metal fino es de alrededor del 1% al 5%, es decir que por cada cinco TM de metal es necesario remover y tratar más de 100 TM de mineral. Por lo tanto, el 95% es mineral estéril que debe ser acumulado en desmontes de gran volumen, que evitan otros usos de las superficies en las que son acumulados, o que son volcados a los torrentes o formaciones hídricas, incluso con elementos nocivos, residuos del proceso de producción.

El daño ecológico causado por la actividad minero-metalúrgica ha motivado a que gobiernos, empresarios e investigadores encaren el problema desde diferentes líneas de acción, entre las que a manera de ejemplo se indican a continuación:

a) En 1976, durante la realización de la Mesa Redonda sobre Política Minera, auspiciada por los ingenieros de minas del Perú, se presentó la propuesta de crear un Comité Multisectorial de Coordinación del Medio Ambiente, incluyendo un extenso programa de acción. La propuesta fue concretada en el mes de mayo de 1980, aprobándose la creación de la Comisión Multisectorial Permanente de Preservación del Medio Ambiente; una de sus primeras acciones fue la presentación del proyecto de Ley de Bases del Medio Ambiente que consta de 19 Artículos. Sin embargo sigue existiendo un daño continuo en la fauna marina por los relaves mineros que son arrastrados por los ríos, o los daños causados en las lagunas interiores.

b) En Estados Unidos la Environmental Protection Agency (EPA), es la encargada de vigilar el cumplimiento de la Ley Pública 92500. En forma similar se vigila el cumplimiento de las estrictas medidas de la Ley Básica para el Control de la Polución del Medio Ambiente, que rige en el Japón desde 1967.

c) Durante el 43º Período de Sesiones de la Comisión Económica Europea, efectuado en 1988, se aprobó la decisión E(43), mediante la cual se aprobó la Estrategia Regional para la Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales.

La Estrategia define en primer lugar los objetivos a mediano y largo plazo --año 2000 y adelante-- y en segundo lugar las políticas y el programa de acción, destinados al cumplimiento de dichos objetivos. También se identifican los requisitos necesarios para la implementación de la Estrategia que se refieren principalmente a la formulación del correspondiente cuerpo legal; el progreso científico y tecnológico; la integración de las políticas económicas, sociales y ambientales; la redefinición de los papeles del sector público y privado; la cooperación internacional.

d) Recientemente han sido aprobadas diferentes disposiciones que obviamente tendrán efectos en la actividad minero-metalúrgica:

i) En el Reino Unido, "The Environmental Protection Bill" de 1990, propone el establecimiento de un sistema integrado de control de la polución ambiental.

ii) En Australia "The Commonwealth's Resource Assessment Commission Act" se convirtió en ley en junio de 1989, con disposiciones tendientes a la integración de los ecosistemas. En forma complementaria se aprobó la restricción de la exploración minera en los parques nacionales, localizados al oeste de Australia.

iii) En febrero de 1990, la Cámara de Minas de Tasmania, solicitó que se la provea de directivas para la futura utilización de las tierras baldías, bajo el espíritu de valorizar tanto las actividades mineras, como el patrimonio ambiental.

iv) De acuerdo al Acta 73 de Conservación del Medio Ambiente, aprobada en 1989 en Sudáfrica, ninguna empresa o minera puede iniciar actividades sin el permiso escrito del Ministerio de Asuntos Ambientales, permiso que es otorgado después del análisis del impacto ambiental que podría causar el nuevo proyecto.

v) Después de siete años de trabajo y estudio, el Tratado para la Regulación de las Actividades Mineras en la Antártida, está abierto a la firma de los países a partir de noviembre de 1989. El Tratado tiene el propósito principal de lograr un equilibrio entre la explotación de los recursos mineros y la conservación del medio ambiente.

vi) Con o sin disposiciones legales, diferentes empresas están adoptando diferentes tecnologías que disminuyen o eliminan los efectos contaminantes de la actividad minera; recuperan los activos ambientales dañados; reproducen nuevas formas de patrimonio ambiental o adoptan actividades que prevén el daño ecológico.

vii) La investigación tecnológica está logrando importantes avances en nuevos métodos y procesos de producción no contaminantes o que reducen o eliminan el efecto nocivo de estos elementos. Sin embargo por el monto de las nuevas inversiones y las que se pierden, estos adelantos son adoptados por las empresas en forma paulatina. Por ejemplo son ya muy conocidos los métodos para la eliminación o transformación de anhídrido sulfuroso (dióxido de azufre), como la reducción directa del azufre, el incremento de la concentración para posibilitar la producción de ácido sulfúrico, la sustitución de los métodos pirometalúrgicos por los hidrometalúrgicos o la lixiviación bacteriana. Otras tecnologías que se pueden mencionar como ejemplos son: la utilización de peróxido de hidrógeno para eliminar el cianuro de los relaves de la producción de oro; la utilización de una alta concentración de dióxido de titanio posibilitaría la

reducción de su co-producto, el sulfato de hierro; la sustitución del amoníaco por soda cáustica en el proceso de producción del tantalio.

A pesar de los adelantos que se efectúan a nivel de diferentes empresas, se expresa que si bien estas batallas se están ganando, en cambio se estaría perdiendo la guerra a nivel mundial por el continuo deterioro del medio ambiente, ocasionado por la actividad minero-metalúrgica. Esta situación estaría requiriendo medidas de solidaridad internacional, como por ejemplo la formación de un fondo rotativo que permita a las empresas acelerar la adopción de tecnologías no contaminantes.

### III. LA IMPORTANCIA DE LA EXPLOTACION AURIFERA

Como es ampliamente conocido, el oro fue utilizado por muchas centurias como un medio de intercambio comercial y fue el fundamento central de la Escuela Mercantilista que propugnaba su acumulación como resultado del intercambio por otros bienes. Posteriormente, los requerimientos de medio de pago por la rápida expansión del intercambio comercial, motivó la emisión de dinero, respaldados por menores proporciones de oro. La sustitución del patrón-oro por el dólar como referencia para las otras monedas y la caída de la relación dólar-oro, determinaron que en las dos últimas décadas, la expansión de su demanda se encuentre basada principalmente en las industrias relacionadas: joyería, ornamentos, odontología, electrónica, etc.

Con la fundición del oro en lingotes, "bullion", provenientes del beneficio del mineral aurífero de veta y aluvión y el reciclaje de la chatarra u "oro viejo", comienzan a incorporarse una variedad de procesos metalúrgicos, químicos y metalmecánicos, artesanía, orfebrería y servicios indirectos de alta tecnología que otorgan un nuevo dinamismo a la oferta y demanda de este metal.

#### 1. Reservas y tendencias de la oferta y la demanda. La variación y tendencia de los precios

Las reservas de minerales de oro están concentradas en cerca del 86% en el grupo de países desarrollados y países de Europa Oriental. A su vez el 75% de las mismas pertenecen a solo dos países: Sudáfrica y la URSS. Las reservas de América Latina representaron menos del 6% (cuadro 1).

En el período 1980-1988, la producción primaria de oro creció a una tasa anual del 5%, incrementándose en una proporción mayor las ventas de los países de Europa Oriental. En cambio disminuyó la producción secundaria, que posiblemente sea la parte de la oferta que equilibra la brecha con la demanda, lo que significa que

la producción de mina está creciendo más rápidamente que la demanda total, lo que determina que la producción hacia el año 2000 se incremente a una tasa más baja que la lograda en el período indicado (cuadro 2).

Sin embargo y suponiendo una tasa 50% más baja que la lograda en este período, las reservas conocidas se agotarían en un término de 15 años, aspecto que estaría mostrando la urgencia de continuar con las correspondientes exploraciones.

La demanda de oro utilizada en joyería creció a una tasa anual de cerca del 10%, representando en 1988 cerca del 60% de la demanda total. En cambio disminuyó la demanda de oro utilizada en odontología, otros usos industriales, reservas monetarias, las tonencias en lingotes y las compras oficiales. Se estima que la demanda del oro durante la presente década se mantendría a una tasa de por lo menos 4% (cuadro 3).

El precio nominal del oro se mantuvo casi sin variaciones durante el siglo pasado y la primera parte de este siglo. Durante la II Guerra Mundial se incrementó en cerca del 70%, manteniéndose a ese nivel hasta 1970, período en el que se deja de establecer una estrecha relación dólar-oro. A partir de ese período los precios, igual que los de los otros metales quedan sujetos a fuertes fluctuaciones, según se pueden observar en las siguientes tasas de crecimiento anual:

Periodos	Tasa anual de crecimiento %
1970-1975	34.72
1975-1976	- 21.65
1976-1980	48.29
1980-1982	- 21.60
1982-1983	12.74
1983-1985	- 13.49
1985-1986	15.94
1986-1987	21.32

De mantenerse la oferta y la demanda en la forma estimada es posible que el precio se incremente hacia el año 2000, a tasas anuales promedio, superiores al 3%.

## 2. El proyecto de monetarización de los metales preciosos en América Latina

La actual crisis financiera por la que está atravesando América Latina, no es sólo causada por los altos niveles de endeudamiento externo, sino básicamente por una caída de los recursos financieros disponibles para la inversión del 52% entre 1982 a 1987, a pesar

Cuadro 1

## COMPOSICION DE LAS RESERVAS MUNDIALES DE ORO A 1983

	Miles Onzas Troy	%
1. Países Desarrollados	642	61.9
2. Países de Europa Oriental	250	24.1
3. Otros Países en Desarrollo	85	8.2
4. América Latina	60	5.8
Total	1 037	100.0

Fuente: Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe.

Cuadro 2

TENDENCIA DE LA OFERTA MUNDIAL DE ORO  
(Miles de onzas Troy)

	1980	1988	Estimación propia al año 2000
1. Producción Mina	30.2	44.8	61.0
2. Reciclaje	21.2	10.5	18.0
3. Ventas de Países de Europa Oriental	2.9	8.0	7.0
Totales	54.3	63.3	80.0

Fuente: Mining Journal, vol. 310 No. 7968.

Cuadro 3

TENDENCIA DE LA DEMANDA MUNDIAL DE ORO  
(Miles de onzas Troy)

	1980	1988	Estimación propia al año 2000
1. Joyería	17.8	37.5	56.0
2. Electrónica	3.2	4.5	6.0
3. Odontología	2.0	1.4	0.7
4. Otros usos industriales	1.4	1.3	1.2
5. Reserva monetaria	6.5	6.5	6.5
6. Lingotes	16.1	7.1	8.0
7. Compras oficiales	7.3	5.0	1.6
Totales	54.3	63.3	80.0

Fuente: Mining Journal, vol. 310, No. 7968.

de que el coeficiente de ahorro interno se incrementó de 22.5% a 22.9% con respecto al PIB. De esta manera se establece que en forma simultánea al ajuste de las economías, para generar los recursos requeridos por el servicio de la deuda externa, la región necesita nuevos recursos externos que coadyuven a financiar un nuevo proceso de desarrollo.

Sin embargo es posible que solo existan dos fuentes de financiamiento externo que podrían incrementarse mediante acciones unilaterales de América Latina: el fomento a las inversiones directas y la emisión de bonos con respaldo de las consiguientes garantías.

Los bonos podrían emitirse con períodos de maduración a cinco o más años, con la garantía de la producción de oro durante ese período. La operación tendría las características técnicas de una venta a plazo.

Pero por otro lado en el contexto del Tratado de la ALADI, existe la figura de las Garantías Uniformes, respaldadas por los bancos centrales de los países miembros, las que tienen el propósito básico de incrementar el comercio intrarregional.

Estos documentos, con el respaldo propuesto de la futura producción de oro de la región, podrían tal vez ser colocados en el mercado financiero internacional, por lo que indirectamente se estaría "monetarizando" la producción de oro de la región.

#### IV. PRINCIPALES METODOS DE BENEFICIO AURIFERO Y SUS EFECTOS CONTAMINANTES

En cada uno de los métodos tradicionales de extracción y beneficio del oro, se han desarrollado nuevas tecnologías, aunque el propósito no siempre fue disminuir los elementos o procesos contaminantes, sino más bien propósitos para incrementar los índices de recuperación, disminuir los costos de producción o recuperar co-productos y subproductos.

##### 1. Los principales métodos utilizados: amalgamación, concentración gravimétrica, flotación, tostación y cianuración

a) La amalgamación de los minerales de oro es uno de los métodos más simples y antiguos de tratamiento y aún es muy utilizado por pequeños mineros que tienen la necesidad casi diaria de vender su producción. Los relaves de este proceso, altamente contaminante por la utilización del mercurio, todavía contienen importantes porcentajes de metal. Para recuperar los contenidos de oro, plata y mercurio, con relativo bajo costo y economía de

tiempo, se pueden utilizar los procedimientos de cianuración directa y de fracción de malla-325. La cianuración puede efectuarse en un circuito cerrado de volatilización que permite su reciclaje, disminuyendo los efectos contaminantes.

b) El método del monitoreo es el método más económico en la minería de placeres auríferos, localizados en bancos, terrazas y orillas de los ríos. Es también un método que en la fase de la extracción no presenta efectos contaminantes. El equipo consta básicamente del monitor, manga de succión y una motobomba. El mineral es fijado en alfombras de arpilleras de los sluices, los desechos son arrastrados por gravedad mediante las canaletas de eliminación. El mineral de los lechos de los ríos es removido por drogas de arrastre, de corte o de succión. El mayor problema consiste en que las partículas más finas pasan las mallas de las alfombras y se puede perder hasta un 70% del oro. Para dar solución a esta situación se han desarrollado otros equipos como los sluices de laberinto, las Baterías Higs, las mesas vibradoras y los centrifugadores, como las Espirales Humphreys, o los Hidrociclones. Estos equipos tienen el propósito básico de separar cuerpos o elementos de diferentes densidades por acción mecánica o física sin contener elementos contaminantes, pero sin dar solución a la acumulación del material estéril en los lechos u orillas de los ríos, tampoco se pueden lograr concentrados de muy alta ley, especialmente si se trata de oro poroso y laminado en estado microscópico, ya que adquiere la tendencia de rechazo al agua (propiedad hidrofóbica). Las partículas más finas tienden a flotar en el agua, por lo que los métodos gravimétricos tienen muy poca efectividad.

c) Para la recuperación de los finos y ultrafinos de oro, se ha utilizado con éxito el método de flotación sin deslamado. En la flotación se requiere una alta dispersión de la pulpa, lo que se logra con dispersantes y un muy bajo porcentaje de sólidos (5% a 10%). Los reactivos son los mismos que se utilizan en la flotación de oro libre. Previo al proceso de flotación se debe lograr un enriquecimiento de los concentrados con un proceso de cianuración en plantas de lixiviación de mineral primario, bajo un sistema de circuito cerrado.

d) Otro de los problemas que presenta la explotación del oro, es la presencia en el mineral, generalmente en las piritas auríferas, de arsénico o antimonio, los cuales son fuertemente castigados. El tratamiento de las arsenopiritas auríferas requiere de un método combinado piro-hidrometalúrgico por medio de una planta de tostación del mineral para la eliminación del arsénico-antimonio y azufre, seguida de la recuperación del oro (y plata) en una planta de lixiviación por cianuración. La eliminación de contaminantes por medio de la tostación se basa en el hecho que a altas temperaturas (500°C a 700°C) se volatilizan selectivamente algunos elementos o compuestos de azufre, mercurio, arsénico, antimonio, bismuto, plomo, telurio, talio, germanio, selenio y sus

compuestos como sulfuros, arseniuros y óxidos, dando lugar por ejemplo a la formación de sulfuros estables y a la volatilización de sulfuros de arsénico, antimonio, etc. Después de la combustión y mediante tratamientos adecuados de enfriamiento, estos elementos pueden recuperarse como sulfuros u óxidos, entre ellos por ejemplo el trióxido de arsénico, de utilidad económica, o un ácido sulfúrico de baja calidad.

## 2. Nuevos métodos de beneficio: Oxidación, carbón activado, fusión-absorción atómica, propulsión electro-molecular

a) Muchas veces el pretratamiento de los minerales de oro, mediante los procesos de tostación o lixiviación a presión, resultan demasiado costosos. Una forma de menor costo es la oxidación o biooxidación del mineral, permitiendo su liberación para su contacto con el agente lixivante, mediante el pretratamiento biológico o de lixiviación bacteriana, que rápidamente está llegando a ser una alternativa viable de menor costo. En algunos casos el proceso de oxidación no sería suficiente para liberar el oro, por lo que sería necesario elevar el PH a cerca de 2.0, mediante la utilización de ácido sulfúrico y lechada de cal.

b) Entre los diferentes métodos para recuperar el oro y la plata desde las soluciones de cianuración en pila, destacan por el uso creciente el de cementación con polvo de zinc y el de absorción con carbón activado. Las propiedades absorbentes del carbón activado sobre el oro contenido en soluciones de cianuro, son conocidas desde principios de siglo, pero no se aplicaba el método porque el proceso de desorción se efectuaba en forma costosa por calcinación del carbón. En la actualidad, los metales preciosos se recuperan por electrólisis, permitiendo el reciclaje del carbón (de coco). El proceso es también factible mediante la lixiviación a presión; en cuyo caso se podría eliminar el cianuro de la solución tratada, sin embargo como se indicó anteriormente, éste es un proceso de alto costo. Los metales preciosos pueden ser también desorbidos aceleradamente con agua desionizada a 110°C y una presión de 12 a 18 psi, después de un pretratamiento de remojo en caliente, cargado con una solución al 1% de NaOH.

c) El método combinado de fusión-absorción atómica se utiliza en los laboratorios de ensayo, sin embargo queda abierta la posibilidad de ser utilizado en forma más amplia. La fusión se puede utilizar como método de pre-concentración, utilizando al plomo como agente colector, dada su facilidad de aleación con los metales nobles. La absorción atómica se realiza por ataque directo al mineral contenido en las copelas utilizadas durante el proceso.

d) También a nivel de laboratorio pero que puede ser utilizado en forma industrial, se encuentra el método Haber o de propulsión electro-molecular. Este es un método patentado en varios países. El método fue diseñado después de amplios estudios sobre las

propiedades geoquímicas de diferentes minerales de oro, luego requiere de tratamientos diferenciados, según el mineral, incluyendo los que contienen partículas microscópicas. En el proceso de lixiviación por este método, no se utilizan elementos contaminantes y por lo tanto es un sustituto del uso del cianuro y por otro lado es también compatible con el método de absorción del carbón activado.

Del análisis anterior, posiblemente se pueda establecer que una alternativa de beneficio de oro a nivel de pequeña y mediana empresa, de alta productividad, de bajos costos y requerimientos financieros y que principalmente no sea contaminante, todavía queda a nivel de desafío de investigadores y empresarios y habría que seguir insistiendo en el camino abierto por la lixiviación con reactivos diferentes al cianuro, como la utilización de elementos químicos como el peróxido de hidrógeno que permita desintoxicar las soluciones desechables que contienen cianuro. A nivel de mediana-gran empresa parecería que se abre una puerta con la aplicación del método de propulsión electro-molecular.

#### Notas

1/ Véase Marc Dourojeanni: "Recursos Naturales Renovables de América Latina y el Caribe: Situación y Tendencias", World Wildlife Fund-US, Washington, D.C.

2/ Véase por ejemplo: Axel Dourojeanni, Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable (aplicados a microrregiones y cuencas), ILPES, Documento 89/05/Rev.1, Serie Ensayos, Santiago de Chile, 1990.

3/ Véase por ejemplo un resumen de los principales efectos contaminantes de la producción minera en: Minerals and the Environment: Current Problems and Policies.

## BIBLIOGRAFIA

1. Lagos, Gustavo, "El desarrollo sustentable y la contaminación ambiental en la explotación de recursos mineros", Ambiente y Desarrollo, volumen V, N° 3, diciembre, 1989.
2. Lagos, Gustavo, "Análisis ambiental de la minería chilena", Ambiente y Desarrollo, Volumen VI, N°1, abril, 1990.
3. CEPAL, El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente, LC/G.1648 (Conf.80/2) Rev.1, 5 de febrero de 1991.
4. CEPAL, Minería año 2000 - América Latina: proyectos mineros y su financiamiento, LC/R.807, 4 de octubre de 1989.
5. CEPAL, Antecedentes para el estudio de la pre-factibilidad acerca de la contaminación de la refinería (de petróleo) de Esmeraldas en los ríos Teatone y Esmeraldas, CL/R.750, 10 de abril de 1989.
6. CEPAL, La ecopolítica del desarrollo sustentable: una visión latinoamericana de la agenda global sobre el medio ambiente, LC/R.917, 3 de septiembre de 1990.
7. Companhia Vale do Rio Doce, "Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. A experiencia da CVRD", septiembre 1986.
8. Dourojeanni, Axel, Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable (aplicado a microrregiones y cuencas), ILPES, Documento 89/05/Rev.1, Serie Ensayos, Santiago de Chile, 1990.
9. Dourojeanni, Marc, World Wild Life Fund - United States, "Recursos naturales renovables de América Latina y el Caribe. Situación y tendencias".
10. ECE, "Regional strategy for environmental protection and rational use of natural resources", E/ECE/1171, 1988.
11. Van Wynbergen, Sweder, The World Bank, "External debt, inflation, and the public sector: toward fiscal policy for sustainable growth, Economic Review, Vol.3, N°5, 1990.
12. a) Bermúdez, Salvador, "Tecnologías en minería aluvional".  
 b) Cárdenas, Félix, "Tostación de arsenopiritas auríferas en la recuperación del oro."  
 c) Cárdenas, Félix; Cárdenas, Saúl; Godoy, Manuel, "Recuperación de oro y plata de relaves antiguos de amalgamación."  
 d) Figueroa, Aquiles, "Flotación de minerales de vetas auríferas".  
 e) Gutiérrez, Hugo, "Explotación de yacimientos aluviales de oro en el Madre de Dios".  
 f) Lameiro, Antonio, "Flotación y recuperación aurífera de ultrafinos".  
 g) Mendoza, Juan, "Producción e industrialización del oro".  
 h) Misari, Fidel, "Lixiviación en pila de los minerales auríferos de Purísima Concepción en Yauricocha."  
 i) Misari, Fidel, "Bioxidación de minerales y concentrados refractarios de oro y plata."  
 j) Moscoso-Yáñez, Luis, "Planta de cianuración semi-portátil del oro."  
 k) Mujica, Patricio; Ferree, Tomás, "El concentrador espiral LG7, nueva alternativa para la recuperación de oro fino".

- 1) Ugarte, Guillermo, "Avances recientes en la metalurgia extractiva del oro y la plata", en El oro, Centro de Estudios y Promoción de Ciencias de la Tierra (CEPECT), Lima, Perú, febrero de 1990.
13. Minerals and the Environment: Current Problems and Policies, Energy, Mines and Resources in Canada, MR 163, marzo 1977.
14. ESCAP, "Guidelines for the mitigation of pollution of coastal waters from hazardous industrial wastes, Bangkok, 1990.
  - a) Tantalum Industry, ST/ESCAP/860.
  - b) Titanium Dioxide Industry, ST/ESCAP/860.
15. a) Eston, S.M.; Nair, M.; Hamza, V.M., "Use of geothermal waters in mineral beneficiation processes".
  - b) Fernandes, R.S., "Qualidade do Ar de Vitória - Es - Monitoramento ambiental da área de influencia do terminal marítimo da Companhia Vale do Rio Doce.
  - c) Fernández, H.W., "La industria minera y el medio ambiente".
  - d) Gomes da Silva, E.V.; de Carvalho O.L., "A mineração e o medio ambiente: uma análise técnico-económica en I Encontro de Hemisferio Sul sobre Tecnologia Mineral, Río de Janeiro, diciembre de 1983.
16. "Environment: a war being lost", en Mining Journal, vol. 315, N°8085, London, 24 de agosto, 1990.
17. Ministerio de Energía y Minas del Perú, "Desarrollo económico y social basado en la minería", 1990.
18. Primer Simposio Internacional del Oro en Venezuela, 14-16 de septiembre de 1988.
19. Ecolby, Michael, The World Bank, The evolution of paradigms of environmental management in development, octubre, 1989.
20. Universidad Técnica Federico Santa María, Raúl Galindo, "Estado del arte de los estudios de impacto ambiental. Conceptos generales y alcances a la minería.