

Minerales
Estratégicos para el
Desarrollo de
Colombia
94 • 95

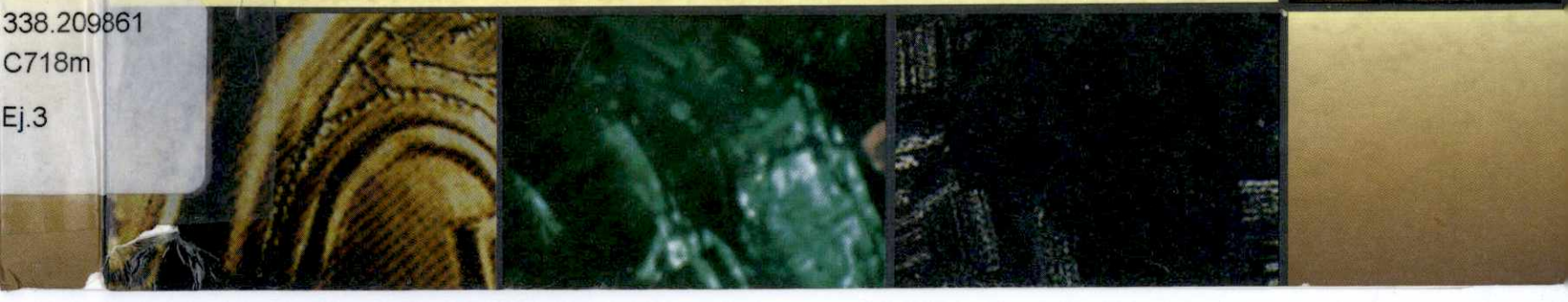
INGEOMINAS

Ministerio de Minas y Energía

338.209861

C718m

Ej.3



338.209861

C718 m

4.3

ABE

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

*"Rodeados de la esmeralda, del amatista, del cinabrio,
de la platina, del hierro, cobre, plomo,
pisando el oro y la plata, en el seno de las riquezas,
somos pobres porque no conocemos nuestros bienes".*

FRANCISCO JOSE DE CALDAS
Semanario de Santafé, 1809.


CARTA DEL DIRECTOR



Con el propósito de desarrollar el Servicio Geológico Minero que Colombia necesita, el INGEOMINAS se propuso convertirse en un instrumento para el desarrollo científico, económico y social del país, basado en una visión integral del Sistema Tierra.

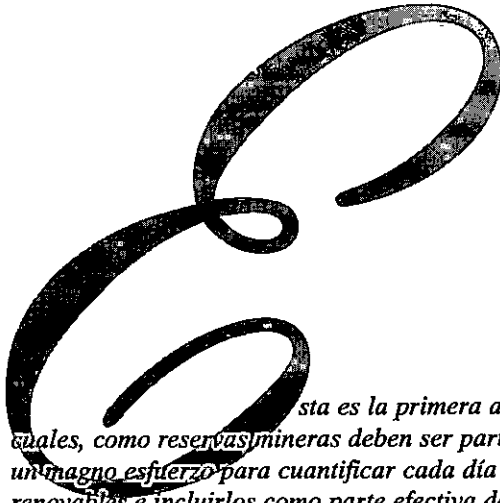
Para el cumplimiento de esta meta, una de las tareas fundamentales consiste en tener actualizado y disponible el análisis integral de los parámetros que sirven de base al desarrollo minero de cualquier país, esto es: el conocimiento del potencial geológico-minero y de los mercados mundiales y nacionales, la apropiación de los procesos de tecnologías limpias, de industrialización y comercialización, y el desarrollo de una infraestructura adecuada para la creación de empresas mineras.

En esta edición presentamos el primer avance del proyecto MINERALES ESTRATEGICOS PARA EL DESARROLLO DE COLOMBIA, MEDC, el cual es parte del estudio permanente de los factores geológicos, mineros y de infraestructura que INGEOMINAS, mediante un sistema de información georreferenciado que cubra las diferentes capas de información, entregará al país como un aporte para el desarrollo y ordenamiento de la minería colombiana.



ADOLFO ALARCON GUZMAN
Director General

PRESENTACION



Esta es la primera acción para valorar nuestros recursos minerales, los cuales, como reservas mineras deben ser parte de las Cuentas Nacionales. Colombia debe hacer un magno esfuerzo para cuantificar cada día con mayor detalle el potencial de sus recursos no renovables e incluirlos como parte efectiva del desarrollo económico. Durante los últimos cincuenta años, el subsector ha estado huérfano de directrices y sin espacio en el Plan Nacional de Desarrollo. Los esfuerzos de este gobierno para incluirlo en las prioridades económicas, sociales y ambientales del país, permitirán ver los resultados en los próximos años. La minería, por sus características, obedece a planes de mediano y largo plazo, con base en el conocimiento del subsuelo y en el dominio de los mercados de materia prima mineral y productos derivados, en términos de oferta, demanda y precios.

El proyecto de Minerales Estratégicos para el Desarrollo de Colombia, ofrece una primera aproximación a estas necesidades y se propone como una actividad permanente, tal como lo es para los países con alto grado de industrialización minera. Sus componentes deben incluir el Inventario Minero Nacional, el Mapa Metalogénico y de Zonas Potenciales, el Sistema de Información Minera y un Banco de Proyectos.

Esta información básica, tiene como objetivo fundamental, estimular a los inversionistas particulares, quienes de acuerdo con el nuevo marco de internacionalización y privatización de la economía, serán los encargados de adelantar las etapas de desarrollo y producción de minerales.

El logro de esta obra es el resultado del trabajo de un grupo de profesionales del Ingeominas, Mineralco S.A., Ecocarbón, Universidad Nacional y Cerro Matoso S.A. Esta acción interinstitucional seguirá siendo coordinada por la Unidad de Planeación Minero-Energética-UPME, lo que garantizará su permanencia e inclusión en los futuros planes de desarrollo del país.

ANTONIO ROMERO HERNANDEZ
Coordinador del Proyecto (1)

HECTOR CASTRO PAEZ
Compilador y Editor (2)

(1) Universidad Nacional de Colombia
Profesor Asistente. Facultad de Minas.

(2) INGEOMINAS, Sanrafé de Bogotá
Coordinador Exploración y Evaluación de Recursos Minerales.

311	CARBON
309	MINERALES ENERGETICOS
	GRUPO VI
287	AZUFRE
274	POTASA
256	YESO
228	ROCA FOSFORICA
214	ASBESTO
195	SAL
191	MINERALES INDUSTRIALES
	GRUPO V
177	NIQUEL
161	HIERRO
159	METALES DE LA INDUSTRIA DEL ACERO
	GRUPO III
146	PLOMO
131	ZINC
115	COBRE
99	ALUMINIO
97	ALUMINIO Y METALES BASICOS
	GRUPO II
84	ESMERALDAS
69	PLATINO
63	PLATA
17	ORO
15	METALES Y MINERALES PRECIOSOS
	GRUPO I
9	MINERALES ESTRATEGICOS PARA EL DESARROLLO DE COLOMBIA-MEDC
5	PRESENTACION
3	CARTA DEL DIRECTOR



COLABORADORES

MINERALCO

Germán Montaña
Jorge González
Carlos Arboleda
Víctor Carrillo
Juan D. Lema

ECOCARBON

Carlos Sánchez
Enrique Gil
José Neiza

INGEOMINAS

Joaquín Buenaventura
Jorge Martín Molina
Guillermo Parrado

MINERALES ESTRATEGICOS PARA EL DESARROLLO DE COLOMBIA - MEDC



■ ANTECEDENTES

A comienzos de la década de los 80 el Gobierno Nacional, por medio del Ministerio de Minas y Energía, estableció la necesidad de estructurar un Plan Nacional de Desarrollo Minero (PNDM) con el objeto de dotar al sector de una herramienta básica para mejorar su participación dentro de la Economía Nacional.

Inicialmente se encomendó a ECOMINAS (hoy MINERALCO S.A.) el diseño del PNDM, pero finalmente el estudio fue contratado con el consorcio IEC-INTEGRAL, firma que entregó los resultados del estudio en 1985. El Plan no fue promulgado oficialmente y sólo algunas acciones aisladas de política minera fueron rescatadas de las recomendaciones del estudio.

Dentro del nuevo marco de modernización e internacionalización de la economía, EL SECTOR MINERO NACIONAL debe cumplir una tarea de liderazgo; se pretende entonces, reevaluar e integrar los aspectos básicos para la reformulación del PNDM. Para lograr el objetivo propuesto resulta necesaria la identificación y el análisis de aquellos minerales estratégicos o prioritarios para el desarrollo económico del país.

INGEOMINAS en desarrollo de sus actividades, ha llevado a cabo diversos proyectos en el campo de la exploración de depósitos minerales en todo el país. También ha publicado investigaciones sobre los

“Recursos Minerales de Colombia”. Tomando como base la experiencia adquirida en este campo y siguiendo la nueva orientación de la misión del Instituto, se inició un proceso de fortalecimiento en la investigación y desarrollo del sector minero. Dentro de este marco, se diseñó el proyecto “Minerales Estratégicos para el Desarrollo de Colombia -MEDC”, el cual debe convertirse en un proyecto permanente del INGEOMINAS y del Sector Minero en general.

■ OBJETIVOS

- ◆ Instituir en el INGEOMINAS, con la colaboración de las entidades del sector, un proyecto permanente sobre Minerales Estratégicos (MEDC), que sirva de base para la formulación de las políticas mineras en el futuro.
- ◆ Identificar y diagnosticar los Minerales Estratégicos para el Desarrollo Económico y Social del País.
- ◆ Definir una base sólida para la formulación de un Plan Nacional de Desarrollo Minero y de integración industrial.
- ◆ Identificar los recursos y necesidades en cuanto a materias primas minerales, a nivel regional, con el fin de formular Planes de Desarrollo Minero Regionales.
- ◆ Diseñar políticas sobre exploración, evaluación y explotación minera, así como los aspectos económicos y legales dentro de los cuales se enmarca la minería. Esta será la única forma de atraer inversión privada, nacional y extranjera para lograr un desarrollo minero competitivo a nivel internacional.

- ◆ Garantizar materias primas de alta calidad, en cantidad suficiente y a costos competitivos.
- ◆ Conocer el Mercado Mundial de Minerales, sus variables y tendencias.
- ◆ Proponer las bases para la creación del Sistema de Información Minera, S.I.M.

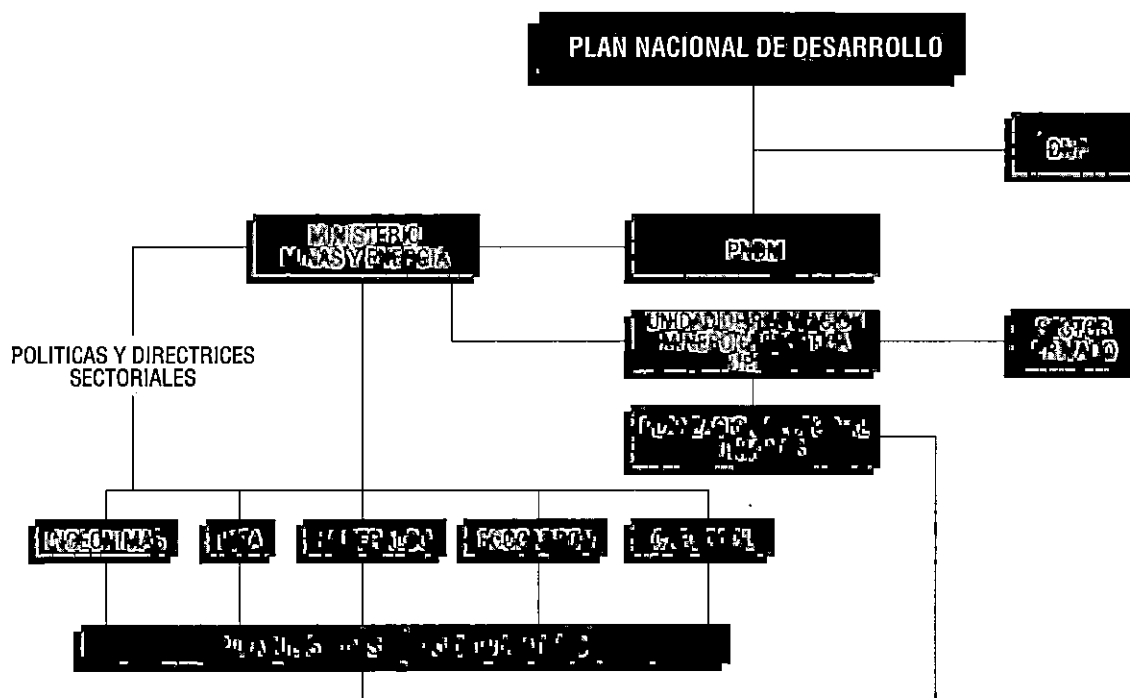
Un objetivo primordial del proyecto, es lograr que el Plan Minero tenga un destinatario en los niveles de decisión del sector, el cual asegure su puesta en marcha y evite el riesgo de quedar en los archivadores, como sucedió en el primer estudio del plan, elaborado por IEC-INTEGRAL (1985).

La *Figura 1* sintetiza la propuesta que permitirá integrar los planes institucionales, tradicionalmente elaborados en forma aislada, logrando el fortalecimiento de la planeación sectorial, con la colaboración estrecha de la Dirección General de Minas. Así, el PNDM tendrá un carácter sectorial y será herramienta básica para la iniciación de las

actividades de la Unidad de Planeación Minero-Energética, donde deberá ser analizado conjuntamente con el sector privado. Con lo anterior se logrará concretar un PNDM que contenga un alto porcentaje de las acciones y objetivos de todo el sector, tendientes a lograr su desarrollo y mejorar su participación dentro de la economía del país. Servirá por lo tanto de soporte a las políticas y directrices del sector, formuladas por el Ministerio de Minas y Energía y permitirá una equitativa participación del sector minero dentro del Plan Nacional de Desarrollo.

Existe en el momento una coyuntura favorable si se consideran los siguientes hechos: Promulgación del Código de Minas (Decreto 2655 de 1988), creación de los Fondos de Fomento del Oro y del Carbón, reestructuración de la Empresa Colombiana de Minas y su transformación en MINERALCO, S.A., constitución Nacional/91 la separación de Carbocol, la creación de Ecocarbón (Decreto de 1992), y la propuesta del Fondo Nacional de Regalías.

Figura 1
ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL PARA LA FORMULACION DEL PLAN MINERO



Otros antecedentes igualmente relevantes son:
Existencia en el país de un potencial minero no cuantificado aún, necesidad de la estructuración de un Plan Minero Nacional, coordinación de las actividades relacionadas con la minería en el sector oficial, desconocimiento de los mercados nacionales e internacionales de minerales y por último la voluntad política de las últimas administraciones en el desarrollo del Sector Minero.

METODOLOGIA

Este proyecto ha tomado como información básica las conclusiones establecidas en el PNDM (1985), complementada con las investigaciones que sobre el tema han realizado INGEOMINAS, MINERALCO S.A. y CARBOCOL; además, se ha escuchado la opinión de profesionales del sector, captada a través de foros y reuniones sobre la materia. A nivel internacional, se ha consultado información actualizada de revistas especializadas en el tratamiento económico de los minerales y metales.

CLASIFICACION DE MINERALES Y METALES

Con el objeto de realizar un análisis comparativo a nivel internacional, se adoptó la clasificación utilizada por organismos y revistas internacionales especializadas, la cual se resume a continuación: (Los 20 minerales considerados estratégicos para el desarrollo minero de Colombia, aparecen resaltados en los diferentes grupos).

Grupo I

METALES Y MINERALES PRECIOSOS (Precious Metals and Minerals): **Oro, Plata, metales del grupo del Platino, Diamante y otras gemas (Esmeraldas).**

Grupo II

ALUMINIO Y METALES BASICOS (Major Metals): **Aluminio, Cobre, Plomo, Zinc, y Estaño.**

Grupo III

METALES DE LA INDUSTRIA DEL ACERO (Steel Industry Metals): **Hierro** (acero, ferroaleaciones), **Cromita, Cobalto, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Tungsteno y Vanadio.**

Grupo V

MINERALES INDUSTRIALES (Industrial Minerals): **Asbesto, Vermiculita, Magnesita y Magnesio, Silimanita, Yeso (SO₃), Soda, Potasa (K₂O), Boro, Sal, Fosforitas (P₂O₅), Fluorita, Barita, Azufre, Perlita, Diamantes industriales.**

Grupo VI

MINERALES ENERGETICOS (Energy Minerals): **Carbón, Petróleo, Gas natural y Uranio.**

Grupo VII

MINERALES DE CONSTRUCCION: Calizas (CO₃), Arcillas (OH), Agregados Pétreos (AP) y Piedras Ornamentales (PO).

Este último grupo se adicionó a las clasificaciones universales, teniendo en cuenta su importancia en el desarrollo industrial del país.

ELABORACION DE MONOGRAFIAS

Con base en la información disponible se identificaron provisionalmente 20 minerales y metales para ser analizados a nivel de monografías; se dio énfasis a los siguientes aspectos:

- ◆ La importancia de un análisis comparativo de la situación mundial y nacional. Hoy en día con la internacionalización de la economía y la apertura de mercados, es absolutamente necesario establecer si nuestros minerales presentan o no ventajas comparativas a nivel subregional, regional o mundial.
- ◆ Las características del mercado nacional e internacional mediante el análisis de cada mineral o metal, en términos de demanda, oferta, variación de precios y proyección en los mercados futuros.
- ◆ En la integración minero-industrial se enfatizó en la priorización de minerales con base en las necesidades de la industria nacional y en el potencial geológico minero. El desarrollo de estos minerales en el país se

justifica siempre y cuando cuente con ventajas comparativas y precios de producción competitivos. Si estos factores no son favorables, recomendar al sector industrial la importación de materias primas o semielaboradas para mantener el normal desarrollo de sus empresas.

- ◆ Cada una de las monografías cuenta con algunas referencias que permitirán al usuario (técnico, inversionista), tener idea del volumen de información disponible en el país.

MECANISMO DE EVALUACION

Luego de realizar el análisis individual del mineral, metal o material presentado en las 20 monografías, éstos se integraron de acuerdo con la clasificación establecida. Lo anterior, permitió un análisis

intragruppo e intergruppo, destacando en ambos casos las prioridades del país tanto en el desarrollo minero como en el desarrollo industrial (Tabla 1).

Para el desarrollo minero, se establecieron las prioridades A-B-C, de acuerdo con el grado de conocimiento del recurso, determinando en cada caso, si éste, presenta perspectivas a nivel de exploración geológica o producción.

Para el sector industrial, se establecieron las mismas prioridades A-B-C teniendo en cuenta el grado de transformación de los productos, determinando la necesidad del mineral o minerales requeridos para asegurar su desarrollo, bien sea mediante el abastecimiento con productos de origen nacional, o

Tabla 1
SELECCION PRELIMINAR DE PROCESOS Y MINERALES PROMISORIOS

MINERALES PROMISORIOS			GRUPO 1			GRUPO 2				GRUPO 3			GRUPO 5					GRUPO 6	GRUPO 7			
			METALES PRECIOSOS			METALES BASICOS				MET. IND ACERO			MINERALES INDUSTRIALES					MINER. ENERG.	MATERIALES DE CONSTRUCCION			
			Au	Pt	Esm	Cu	Pb	Zn	Al	Mn	Fe	P ₂ O ₅	SO ₂	Asb	K ₂ O	NaCl	S	C	CO ₂	(OH)	AP	PO
DESARROLLO MINERO	EXPLORACION GEOLOGICA	PROSPECCION	C	B	C				C	C	C	C			C							
		EVALUACION	A	B	B	C	C	C	C	B	B	B	A				B	A	A	A	A	
		PLANEAMIENTO MINERO	A		A								A				C	A	A	A	A	
		DISEÑO MINERO AMBIENTAL	A		A								A				C	A	A	A	A	
	PRODUCCION	DESARROLLO																				
		EXPLOTACION	A		A																	
BENEFICIO			B						A					B		A	A					
DESARROLLO INDUSTRIAL	TRANSFORMACION	PRODUCTO SEMIELABORADO	B		A	B	C	C	B	A		B			B	B						
		PRODUCTO TERMINADO	B		A	B	C	C	B	A	A						A					
	COMERCIALIZACION	NEGOCIACION																				
		MERCADEO															A					

PRIMERA PRIORIDAD: A	AP : AGREGADOS PETREOS	P ₂ O ₅ : ROCA FOSFORICA
SEGUNDA PRIORIDAD: B	PO : PIEDRAS ORNAMENTALES	SO ₂ : YESO
TERCERA PRIORIDAD: C	CO ₂ : CALIZAS	K ₂ O: POTASA
	(OH): ARCILLAS	Asb: ASBESTO

mediante las importaciones, cuando los primeros no presentan ventajas comparativas. Aquí se tiene en cuenta la política actual de los países industrializados en el sentido de considerar más importante transformar la materia prima que producirla, logrando en esta forma un mayor valor agregado.

La selección propuesta en la tabla 1, así como las prioridades establecidas para minerales y procesos son necesariamente preliminares y deben ser objeto de debate en los sectores privado y oficial, para lograr un consenso que permita la formulación de un Plan de Desarrollo Minero, que refleje los verdaderos objetivos del sector.

Dentro del panorama mundial de cambios rápidos generados por la revolución tecnológica, existe una marcada preocupación sobre el papel decisivo que representa una utilización racional de los recursos naturales no renovables. El proceso de abastecimiento de minerales conduce en cada operación minera al

agotamiento del recurso; surge entonces la necesidad de reponerlo mediante la identificación de nuevas reservas mineras, o sustituirlo por otras materias primas.

Por lo anterior, es necesario redefinir periódicamente los minerales estratégicos de acuerdo con las variantes del panorama nacional e internacional, eliminando los de menor importancia e involucrando aquellos que en un momento dado, sean prioritarios para el desarrollo del país.

El contenido de las monografías presentadas a continuación, siguen un esquema general uniforme con el fin de facilitar la presentación, lograr una standarización e iniciar la sistematización de la información.

Sin embargo de un Grupo a otro o con respecto a ciertos minerales o metales pueden existir modificaciones de acuerdo con la información disponible o su proyección en el país.

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros
Estructura de la Industria
Características del Mercado
Proyecciones
Perspectivas de Desarrollo en el País

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros
AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO
RESERVAS
NUEVAS FUENTES DE RESERVAS
TIPOS DE MINERIA
Estructura de la Industria
MATERIA PRIMA
PRODUCTOS SEMIELABORADOS
PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES
Características del Mercado
DEMANDA
OFERTA
Proyecciones

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros
AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO
RESERVAS
TIPOS DE MINERIA
Estructura de la Industria
MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION
APLICACIONES INDUSTRIALES
Características del Mercado
DEMANDA
OFERTA
Proyecciones

PERSPECTIVAS PARA EL
DESARROLLO DEL RECURSO
EN EL PAIS
Nivel Minero
Nivel Industrial

RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFIA

Minerales

Estratégicos

Para el Desarrollo

de Colombia

MEDC

GRUPO 1

Metales y Minerales
Preciosos

Oro

Plata

Platino

Esmeraldas



Introducción

Los Metales Preciosos poseen propiedades físicas y en especial por su brillo, inalterabilidad y belleza han sido a través de los tiempos elementos apreciados como artículos de joyería, medio de expresión artística y por varios siglos en el caso del oro, un elemento de intercambio monetario internacional y símbolo de riqueza y prosperidad.

Los metales son cuerpos simples electro positivos y monoatómicos que con el oxígeno forman óxidos y su uso industrial se basa, principalmente, en el peso específico, brillo, dureza, resistencia, fragilidad, tenacidad, ductibilidad, maleabilidad, dilatabilidad, conductividad térmica y eléctrica y permeabilidad magnética.

Las esmeraldas, como los metales y minerales preciosos están rodeadas de tradición y superstición, fueron las primeras gemas ofrecidas en el mercado hace más de 5.000 años y en Colombia su historia se pierde en la época precolombina cuando nuestros indígenas las utilizaban para el comercio por trueque. Lo mismo que en el caso de los metales preciosos son símbolo de riqueza y prosperidad.

El oro es un metal de color amarillo, brillante, pesado, blando, buen conductor del calor y la electricidad y con punto de fusión relativamente alto; además, es más dúctil y maleable que cualquier metal. Sus propiedades particulares y es-

peciales permiten múltiples aplicaciones en joyería, odontología, la industria en general y con fines monetarios. La industria minera y su desarrollo en Colombia ha estado íntimamente ligado a la minería del oro.

La plata es mucho menos apreciada que el oro pero su producción a través de la historia ha estado relacionada a mineralizaciones de sulfuros con oro que son comunes como aleaciones naturales en la mayoría de los depósitos hidrotermales. Además, es un subproducto en la explotación de depósitos de cobre, plomo, zinc donde se conoce como metal suavizador haciendo rentables algunos de estos que sin su presencia no serían económicos. Es un metal de color blanco, de brillo metálico, alto punto de fusión, dúctil, maleable, resistente a la oxidación y excelente conductor del calor y la electricidad. Se emplea en la industria fotográfica, en electrónica y productos eléctricos, aleaciones y equipos de soldadura, joyería, como catalizador, en monedas y objetos conmemorativos, odontología y medicina.

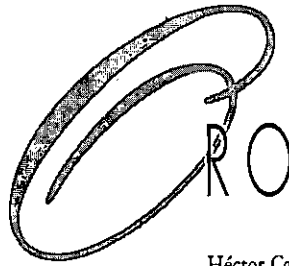
El platino se encuentra genéticamente relacionado con los elementos osmio, iridio, paladio, rodio y rutenio y se le denomina, en conjunto, Elementos del Grupo del Platino (PGE). Las aleaciones naturales de PGE desde el punto de vista genético son de dos tipos: platino y osmiridio. La primera incluye cantidades

de los otros cinco elementos mientras que la segunda consiste principalmente de iridio y osmio. Los usos de platino han venido cambiando a través del tiempo a medida que se descubren nuevas aplicaciones industriales y estas tienen relación, principalmente, con su extraordinaria actividad catalizadora, su inercia química a altas temperaturas y su alto punto de fusión. En algunas aplicaciones la combinación de dos o más características hace que el Grupo del Platino sea insustituible en la industria.

El platino se utiliza principalmente como catalizador en la elaboración de productos químicos y farmacéuticos, en la industria del petróleo para incrementar el octanaje de la gasolina y en procesos de isomerización y producción de derivados del petróleo; en la fabricación de moldes para la producción de vidrio óptico, en objetos electrónicos y eléctricos debido a su inercia química y estabilidad térmica. Además, se emplea en odontología, medicina, sistemas de galvanizado, oleoductos y cohetes espaciales.

La esmeralda es una variedad de berilo coloreada por la presencia de cromo y a veces de vanadio; cristaliza en el sistema hexagonal formando prismas de seis caras. Las características físicas como peso específico, índice de refracción, birrefringencia y pleocroismo, varían según el yacimiento. Las propiedades ópticas definen su calidad y están determinadas por el color, el brillo y la transparencia o diafanidad.

Colombia es uno de los principales productores de esmeraldas; la gema colombiana por su color, transparencia y brillo, o "vida del cristal", es considerada como la gema de mejor calidad y mayor precio a nivel mundial.



Héctor Castro Páez ⁽¹⁾
Hernando Lozano Q. ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico Mineros

El oro, a través de los tiempos, por su brillo, inalterabilidad y en especial por su belleza, ha sido un elemento excepcionalmente apreciado como artículo de joyería, medio de expresión artística y por varios siglos se ha convertido en elemento de intercambio monetario internacional y símbolo de riqueza y prosperidad.

El oro es un metal pesado de color amarillo brillante, blando, séctil, buen conductor del calor y la electricidad y con un punto de fusión relativamente alto (1053°C); además, es el más dúctil y maleable de los metales. Estas propiedades especiales permiten múltiples aplicaciones en joyería, odontología, electrónica y acuñamiento de monedas.

Es un elemento siderófilo y en menor proporción calcófilo; las principales fuentes del metal son el oro nativo y los telururos. El primero contiene cantidades variables de otros elementos siendo la asociación natural oro-plata la más común. Se presenta como elemento traza en gran variedad de minerales, como oro nativo, telururo o como constituyente de la red cristalina.

Diversas clasificaciones se han elaborado de las fuentes naturales o tipos de depósito de donde se obtiene el oro, de diferentes edades, siendo las zonas de venas y filones, estovercas, skarn, pófidos aurocupríferos, sulfuros masivos, oro diseminado y depósitos de placer, las principales fuentes en el mundo.

La mayor producción en Colombia se obtiene a partir de depósitos de placer que van desde aluviones acumulados en canales antiguos en el Precámbrico (Guainía, Vaupés) pasando por terrazas de edad Pleistoceno Superior (Bajo Cauca y Nechí) hasta llanuras de inundación del Holoceno (Magdalena Medio).

(1) Geólogo, Ingeominas Santafé de Bogotá.

(2) Geólogo, MSc, Ingeominas Ibagué.

Los depósitos de filón presentan una amplia distribución geográfica, encontrándose que la mayor concentración se halla en las cordilleras Central y Occidental y están relacionadas a eventos magmáticos del Mesozoico y del Cenozoico.

El yacimiento El Roble (Chocó) en explotación y el prospecto El Dovia (Valle), por sus características geológicas se pueden clasificar como sulfuros masivos siendo el cobre el elemento de mayor interés para la explotación y en forma secundario, el oro.

En los departamentos de Antioquia, Chocó y Tolima se han identificado algunos prospectos y manifestaciones de oro diseminado, asociados a rocas intrusivas hipoabisales de edad Cretácico Inferior al Neogeno.

En el Oriente colombiano, en las Serranías de Naquén, Caranacoa y Taraira, afloran secuencias metasedentarias con niveles metaconglomeráticos auríferos y placeres recientes que presentan en la matriz, cantidades de oro económicamente explotable.

El conocimiento actual de las reservas es limitado (reservas medidas reportadas de 42 tm.) y las pocas evaluaciones realizadas han sido hechas por las empresas interesadas puesto que no se han adelantado programas de exploración detallada y de evaluación de reservas.

Si se quiere mantener o aumentar la producción actual es necesario adelantar campañas de exploración y mejorar los procesos de beneficio.

TIPOS DE EXPLOTACIONES MINERAS

La minería en Colombia se adelanta en cuatro escalas cuyas características básicas son:

Minería de Subsistencia

Explotación manual de aluviones utilizando la batea, almocafre y otras herramientas. Se adelanta en forma individual con un rendimiento entre 0,5 a 1,0 g de oro por día. Los costos de producción son muy bajos y por ello quienes se dedican a esta actividad la justifican a pesar de su bajo rendimiento.

Pequeña Minería

Se emplea tanto en la explotación de placeres como en la de filones. Siendo importante en el primer caso, ya que proporciona el mayor aporte a la producción nacional. En la explotación de aluviones se utilizan motobombas de baja presión con motores de gasolina hasta de 16 HP, monitores, canalones de madera, minidragas de succión con motores hasta de 16 HP y elevadoras de 32 a 64 HP en promedio, herramientas manuales y otros accesorios. La explotación la adelantan grupos de 6-10 mineros con una producción entre 200 y 2.000 g/mes con costos de producción estimados entre 0,2 a 0,3 g por m³ de material removido.

La pequeña minería de filón procesa hasta 30 t/día. El arranque se ejecuta con explosivos, previa utilización de taladros y martillos manuales y en las minas más tecnificadas, herramientas accionadas con aire comprimido; para el transporte interno se utilizan coches de tracción humana. La reducción de tamaño del mineral se hace con tritu-

radores de quijadas y molinos de diferentes clases. El oro libre se extrae por concentración gravimétrica, separándolo finalmente con batea o por amalgamación en barriles. El proceso final de beneficio se complementa con cianuración en algunos casos, siendo más común el de percolación que el de agitación.

La producción unitaria por mina varía entre 300 y 3.000 g/oro/mes con costos estimados de 3,5 a 10 gramos de oro por tonelada de mineral procesado.

Mediana Minería

La mediana minería de aluvión se caracteriza por la introducción de algún tipo de exploración sistemática y tecnificación en la explotación con el empleo de dragas, bulldózers, retroexcavadoras, cargadores y vehículos de transporte con capacidad hasta 25 t. Para el lavado del material se utilizan canales metálicos y la recuperación, en la mayoría de los casos, se ejecuta por amalgamación con mercurio. La variación en la escala de producción es amplia, entre 600 y 2.000 m³/día con costos de producción estimados entre 150 y 250 mg de oro por metro cúbico de material removido.

La mediana minería de filón opera con equipos semi y mecanizados de arranque, transporte y ventilación. La escala de producción varía entre 30 y 600 t/día de mena. En el beneficio del mineral se utilizan trituradoras de quijadas y cónicas, molinos de barras y de bolas y el proceso de cianuración por agitación. Los costos de producción alcanzan hasta 4,5 g de oro por tonelada de material procesado.

Gran Minería

La única explotación aurífera permanente en Colombia para este rango es la de Mineros de Antioquia en los depósitos aluviales de los ríos Nechí y Tigüí. Esta modalidad exige la utilización de equipo especializado, en este caso 5 dragas de cucharas, con una capacidad total de dragado de 75.000 m³/día, que cuentan con su propio equipo de beneficio y lavado. Los costos de operación se estiman entre 60 y 80 mg de oro/m³ de material removido.

PRODUCCION

Los principales países productores son Suráfrica, USA, Australia (incluyendo Papúa-Nueva Guinea) y Canadá, en los países desarrollados; la Comunidad de Estados Independientes (CEI) y China, en países de economía central y Brasil, Chile y Colombia dentro de los países en vía de desarrollo.

La producción de oro en el Mundo Occidental durante 1992, tuvo un incremento de 3,7% con relación al año 1991 y alcanzó 1.840,5 toneladas. A nivel mundial la producción se incrementó en 2,9% con relación al año 1991 y se lograron 2.216,5 toneladas.

A nivel Latinoamericano y para el año 1992, Brasil fue el primer productor con 76,5 t seguido por Chile (39,5 t) y Colombia (29,9 t). A nivel mundial Brasil ocupa el séptimo lugar, Chile el décimo y Colombia el décimo-segundo.

El mayor uso del oro lo constituye la joyería, le siguen la electrónica, el acuñamiento de monedas oficiales y otros.

La producción nacional de oro en el último quinquenio ha variado entre 30-

35 toneladas. El mayor productor lo constituyó el departamento de Antioquia, que pasó de una participación del 79% en 1986 al 48% en 1991. Ultimamente se ha incrementado significativamente la producción en el departamento de Bolívar, el cual ha venido liderando la producción nacional a partir de 1993.

Estructura de la Industria

En el mundo occidental, 1992, fue considerado el año del resurgimiento de la industria del oro luego de un receso de dos años (1990-1991), donde la demanda tuvo una modesta tasa de crecimiento de tan sólo el 5% anual. Para 1992, la oferta de oro se incrementó en 11%, consumiendo 2.859 toneladas, excediendo en 583 toneladas el consumo del metal proveniente de dos fuentes principales: producción minera y el reciclaje de los desechos industriales ricos en oro (Gold Scrap) del mundo occidental. El oro, proveniente de joyería en desuso, es el componente más importante de la demanda, el cual se incrementó en 15% (2.461 t) y contabilizó el 86% de la demanda total de la fabricación de artículos de oro.

Para otros sectores de la industria, los cambios en la demanda fueron menos dramáticos. El uso en la electrónica, área industrial de mayor consumo de oro, cayó en 7% (141 t), pero fue más o menos balanceada por el consumo industrial en odontología y otras aplicaciones de carácter decorativo.

El uso del oro para acuñamiento de monedas decreció en 87 toneladas, caída debida a la ausencia de cualquier

tipo de emisión similar a la ejecutada en Japón durante 1991. Sin embargo, en 1992 aún excluyendo este factor, el mercado reflejó debilidad a lo largo de todo el año, con excepción de algunas ventas europeas ocurridas en el segundo semestre.

El consumo de oro en la industria electrónica, alcanzó niveles superiores a los presentados en los últimos 25 años, con un crecimiento aparentemente manejado por la industria de las telecomunicaciones y los computadores.

Por otra parte, la industria odontológica, consume en la actualidad, menos oro que el empleado en la década de los años sesenta, posiblemente por costos o por materiales sustitutos que han jugado un papel importante en los últimos años.

En Colombia, no existe un desarrollo industrial significativo y la transformación de la materia prima en productos semielaborados o terminados se puede considerar nula. No obstante, Mineralco S.A. a partir de 1992 promociona un Proyecto Industrial para la elaboración de cadenería plana y joyería para exportación. Aunque sólo existe actualmente en los departamentos de Santander y Caldas, se pretende extenderlo a todos los departamentos de Colombia.

Características del Mercado

Las fluctuaciones históricas en el precio del oro afectan en forma diferente la producción y los distintos tipos de minería en un país. No necesariamente el aumento en la producción guarda correspondencia con las varia-

ciones en el precio y más bien estas fluctuaciones se rigen por factores externos múltiples y complejos.

La distribución regional de la producción a través de la historia, ha variado con los descubrimientos de grandes yacimientos. Durante el presente siglo, Suráfrica ha sido el principal productor mundial y aunque su producción ha permanecido estable su contribución a la producción total ha disminuido notoriamente. El mercado mundial del oro tiene varios componentes que involucran tanto la producción minera como las ventas del sector oficial o de particulares y la recuperación de oro secundario por el procesamiento del reciclaje.

La demanda tiene dos finalidades con características diferentes: la manufacturera que tiene relación con el consumo real del metal en sus diversas aplicaciones y la de atesoramiento relacionada con los cambios de existencias por parte de entidades o personas que negocian con el oro en lingotes.

El mercado nacional del oro hasta 1993 presenta unas condiciones sencillas por el hecho de haber sido controlada la producción por el Banco de la República y además por ser muy pequeña la industrialización del metal.

La oferta en Colombia está constituida por la producción nacional, ésta, en 1991 fue de 34,7 t, la más alta registrada exceptuando las de 1985 y 1986, años en los cuales se presenta una distorsión del mercado y se logra la cifra récord de 1'290.000 onzas troy (36,57 t).

En los últimos 30 años la producción nacional presenta grandes fluctuaciones debidas tanto a variaciones en el precio como a políticas institucionales y cambios tecnológicos.

Se presentan dos tipos de consumo de oro en Colombia: uno compuesto por la demanda manufacturera o industrial y otro por la demanda cambiaria.

El control ejercido por el Banco de la República sobre la utilización del oro, redujo considerablemente las ventas oficiales al sector de joyería, ésta, en consecuencia, se aprovisionó del mercado negro. La ley 9 de 1991, autorizó el libre comercio del metal en el mercado nacional. La demanda del oro oficial para usos industriales en los últimos diez años es muy baja (0,4 - 0,7%) comparada con la producción nacional.

Esto puede deberse fundamentalmente: aumento en la producción nacional; aumento en las compras no oficiales; mayor utilización del reciclaje y nivel de desarrollo tecnológico.

El principal componente de la demanda de oro en el país es el cambiario destinado a formar parte de las reservas internacionales; ocasionalmente, el Banco de la República utiliza una cantidad pequeña de oro para la acuñación de monedas conmemorativas de eventos especiales.

Perspectivas De Desarrollo en el País

Durante el último quinquenio ha sido objetivo prioritario del sector minero

colombiano el establecer políticas y mecanismos tendientes a mejorar la producción de oro para lo cual se han adelantado las siguientes acciones:

- Expedición del nuevo Código de Minas, Decreto 2655 de 1988.
- Creación del Fondo de Metales Preciosos, Decreto 2657 de 1988.
- Creación de MINERALCO S.A., Ley 02 de 1990, para fomentar el desarrollo minero.
- Estatuto de inversiones extranjeras, resolución 049 de 1991, básico en la apertura económica del país.
- Ley 9 de 1991.
- Proyecto del Fondo Nacional de Regalías.

Las tareas que se deben ejecutar para un apropiado y eficiente desarrollo de la minería del oro deben estar encaminadas a:

- Aumento de las reservas de mineral aurífero mediante un plan de exploración sistemática y un mejoramiento en los procesos de explotación y beneficio.
- Apoyo técnico a la pequeña y mediana minería.
- Apoyo financiero.
- Fomento de la industrialización del oro.
- Puesta en marcha de políticas de control ambiental claras y objetivos en el marco de la nueva constitución y del Ministerio del Medio Ambiente.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO

El oro es un metal pesado de color amarillo brillante, blando, sectil, buen conductor del calor y la electricidad y con un punto de fusión relativamente alto (1.053°C). Es el más maleable y dúctil de los metales.

Se presenta como elemento siderófilo y en menor proporción calcófilo; en depósitos de metales preciosos se asocia principalmente con Ag, As, Sb, Hg, Se y Te y en algunos depósitos de sulfuros con Fe, Zn y Cu.

Las principales fuentes del metal son el oro nativo y los teluros; el primero contiene cantidades variables de otros elementos, siendo la aleación natural oro-plata la más común. Además, es constituyente traza de una gran variedad de minerales donde se presenta como elemento nativo, teluro y como componente de la red cristalina.

El brillo, la inalterabilidad y la belleza, en términos generales, han hecho que este elemento sea especialmente apreciado como artículo de joyería y medio de expresión artística. Por siglos se ha convertido en símbolo de riqueza y prosperidad.

Se emplea para la elaboración o acuñamiento de monedas, en la industria de la joyería, en aleaciones con cobre, níquel, potasio y plata. El

contenido de oro en la aleación con respecto a los demás metales, se expresa en quilates, cada quilate representa una parte de oro en 24 partes. Es de uso frecuente la aleación aurífera de 14 quilates, considerada como la mínima relación que alcanza a conservar la resistencia a la corrosión.

Es un elemento relativamente escaso en la naturaleza. Su contenido promedio en la corteza terrestre es de 0,004 g/t. Según algunas investigaciones es más abundante en las zonas más profundas del perfil terrestre que en la corteza.

Se han realizado varios intentos de clasificación para las principales fuentes naturales o tipos de depósito.

Una clasificación que abarca el mayor número de depósitos es la realizada por Boyle en 1979, cuyo resumen se compendia así:

- a) Stocks, diques y silos porfiríticos auríferos; cuerpos graníticos aríferos; aplitas y pegmatitas.
- b) Depósitos de metamorfismo de contacto (Skarns).
- c) Venas, filones, estovercas, cuerpos irregulares y pipes mineralizados en zonas de fractura, de falla o de brecha; todos estos en terrenos volcánicos.
- d) Venas y filones en zonas de falla, planos de discontinuidad y pliegues de arrastre en terrenos sedimentarios.
- e) Venas, filones y otros en ambientes

geológicos complejos, que incluyen rocas sedimentarias e ígneas.

- f) Depósitos de oro diseminado en rocas y a manera estovercas formadas en litologías sedimentarias e ígneas.
- g) Depósitos de oro diseminado en conglomerados de cuarzo y ortocuarzitas.
- h) Depósitos de placer (aluviones).
- i) Otros depósitos en los cuales el oro puede asociarse como subproducto. Entre estos depósitos se pueden mencionar los de níquel y cobre asociado a rocas básicas, sulfuros masivos, sulfuros diseminados, shales y esquistos piritosos, arenas cupríferas y depósitos de platino.

Se pueden considerar diferentes tipos de menas de oro, de acuerdo con sus constituyentes, tamaño de partículas, dilución en la ganga y composición de la misma, entre otros. Este aspecto es de gran importancia para el beneficio. En la actualidad se consideran 5 tipos de menas (Universidad del País Vasco, 1989-1990).

- Menas de Oro libre. En estas menas el oro nativo aparece libre, sin la presencia de pirita u otras sustancias eliminables en el proceso de recuperación. Generalmente se encuentra con ganga de cuarzo y las partículas son fácilmente separadas por métodos gravimétricos. El oro es difícil de apreciar macroscópicamente.

- **Menas Piríticas.** El oro se encuentra asociado a sulfuros de hierro como piritita, pirrotina, calcopiritita y arsenopiritita, relleno de pequeñas microfisuras o en los bordes de los granos. La recuperación se hace por flotación y cianuración.
- **Menas Arsenicales.** El oro está contenido en arsenopiritita, de difícil recuperación. Los métodos de beneficio más comunes son la amalgamación y cianuración, siendo la recuperación menor al 80%. La cianuración es un proceso complejo e implica una concentración previa por flotación, un retostado, lavado del residuo de calcinación y finalmente cianuración.
- **Menas Combinadas.** Hace relación a los teluros del oro. Se les considera menas complejas de difícil tratamiento.
- **Menas Carbonosas.** El contenido de material carbonoso entre 0,25 y 1%, las convierte en menas de difícil tratamiento.

SITUACION DE LAS RESERVAS

MUNDIALES

La producción de oro ha estado acorde con el conocimiento de las reservas a nivel mundial, excepto quizás para los países que tenían una economía central planificada donde hubo mayor producción. Para el año 1990, las reservas de oro se ubicaban así: 67% en países desarrollados, 18% en países en vía de desarrollo, 5% en países de economía central planificada y el 10% sin definir. En ese mismo año la producción primaria de oro se

distribuía en 65, 17, 17 y 1 por ciento respectivamente (Crowson, 1992).

Considerando las reservas como estáticas, y la relación (calculada en 0,7%) de reservas identificadas versus demanda primaria acumulada, para 1991-2010, se tiene asegurada una producción para 22 años (Crowson, 1992).

La producción primaria de oro ha contribuido con el 82 al 85% de la producción total de oro desde 1980; durante 1986 se tuvo el mayor aporte de oro reciclado, aproximadamente un 22%.

De acuerdo con Mining Journal Research Services (MJRS), el oro continúa a la cabeza en lo relacionado con gastos proyectados y nuevos tonelajes ubicados, que incrementan las reservas medidas en 171,42 millones de tm de mena por año de nuevo mineral, con inversiones de desarrollo por 5.970 millones de dólares, de los cuales un 43% se hizo en Norteamérica. Le siguen en su orden el cobre, zinc y con menos actividad el plomo.

La mayor capacidad instalada de producción se encuentra en Suráfrica, USA, Australia (incluyendo Papúa-Nueva Guinea) y Canadá, en los países desarrollados; la CEI y China en países de economía central y Brasil, Colombia y últimamente Chile, dentro de los países en vía de desarrollo.

Nuevos proyectos han entrado a operar en USA, lo cual repercutió en un incremento del 10% de su producción

y en países en desarrollo como Indonesia y Ghana. En Canadá se ha presentado una disminución de la producción y también se prevé el mismo fenómeno en la CEI. Compañías norteamericanas, australianas, japonesas y finlandesas principalmente, han puesto su foco de inversión en Latinoamérica, especialmente Chile, Bolivia, Perú, Argentina, Uruguay, Guyana y Colombia.

Gran parte del incremento de la producción de USA proviene de depósitos de bajo grado con heap leaching en Nevada. En el desarrollo de la American Barrick's Goldstrike mine, se encontraron tenores más altos en la menas de sulfuros, lo cual le permitirá producir cerca de 56 tm en 1995. A pesar de que la exploración en USA ha sido exitosa, se presentan problemas para el desarrollo de nuevos proyectos, porque la disponibilidad de financiación ha disminuido, las ganancias no son atractivas al precio actual del oro y nuevas legislaciones mineras que incrementan las regalías (del 8 al 12,5%) y eliminan la propiedad privada minera. Para una muestra de 97 minas, la producción promedio fue de 3,3 tm en 1992, siendo el 15%, mayor de 5 tm.

En Australia las compañías han incrementado la exploración, la cual había decrecido a fines de los años 80's, pero algunas han desviado su atención a países en desarrollo, en parte por la introducción en 1991 de más impuestos a la minería del oro y las restricciones de exploración minera en áreas llamadas "Mabo", las cuales son aproximadamente una cuarta parte del territorio. Depósitos

descubiertos como los Kanawna Belle (de alto grado) en Kalgoorlie, Callie en el Norte y Bronzewing en el Occidente, harán que la declinación de la producción no sea tan fuerte. De una muestra de 137 minas, el promedio de producción fue de 1,7 tm.

Gran parte de la producción de Canadá es el resultado del descubrimiento y desarrollo de los campos auríferos de Helmo a mediados de 1980 (Gold, 1993). Pero su producción disminuyó significativamente (11%) en 1992 con respecto a 1991, debido al cierre de más de diez minas subterráneas con altos costos de producción. La tendencia es que depósitos marginales se categoricen ahora como proyectos de gran volumen y bajo grado, que requieren grandes inversiones antes de operar. Este hecho junto con medidas ambientales más estrictas, la reducción de áreas para exploración por la creación de parques nacionales y una cultura minera hacia los metales base, ha disminuido la exploración aurífera en Canadá y centrado su atención en Latinoamérica. De una muestra de 68 minas, la producción promedio en 1992 fue de 2,3 tm.

En Latinoamérica, Brasil el mayor productor, ha registrado disminución consecutiva desde 1988 (102 tm) hasta 1992 (77 tm), debido a la reducción sustancial del sector informal (los garimpeiros) que no resisten la depresión de reservas, la devaluación y el precio del oro. Sólo el sector formal liderado por compañías estatales, la CVRD, ha seguido incrementando su producción.

Chile ha incrementado su producción

en un 20% con respecto a 1991 llegando a 39 tm. La mina Coipa, propiedad de Placer Dome y TVX Gold, es la mayor productora. También se destaca la mina El Indio. La ampliación de Coipa junto con El Indio, demandó US\$300 millones de inversión para una producción de 240.000 onzas troy anuales. Nuevas inversiones de la Malaysian Mining Corporation en el proyecto Dayton's Andacollo y de la Bema y Amax Gold's Refugio, seguirán incrementando la producción de en 1994.

La inversión extranjera regresó a Bolivia, con la puesta en marcha del proyecto Kori Kollo de Inti Raymi, que demandó US\$ 150 millones, para una operación de casi 8 tm de oro en 1992. Se espera también un incremento con la mina de Battle Mountain y el grupo Mercado, la cual está diseñada para producir 7 tm anuales (LATINOMINERIA, agosto 1993).

En Guyana, entró en producción en 1993, el proyecto Omai de Cambior and Folden Star Resources. Tuvo una inversión de US\$150 millones para una operación de 14.100 tm de mena diaria, con un tenor promedio de 2 g Au/tm y una recuperación del 93%. Se preveía para 1993 una producción de 260.000 onzas troy.

En Perú, está el último de los tres grandes proyectos de oro diseminado que entraron en operación en Latinoamérica en 1993. Se trata de la Empresa Minera Yanacocha S.A, de Newmont, Condesa (Minas Buenaventura) y Serem (BRGM), que demandó una inversión de US\$36,6 millones para una producción de

110.000 onzas troy anuales de oro. Está diseñada para tratar 10.000 tm diarias con un tenor de 1,16 g/tm. Las reservas están basadas en un tenor de corte de 0,5 g/tm a un precio de US\$350 onzas troy y una recuperación metalúrgica de 83% (LATINOMINERIA, agosto 1993).

En Venezuela, cuya producción de oro decayó a 12 tm en 1992 debido a la más baja producción del sector informal, el cual tiene la mayor parte de la producción, siguen grandes proyectos de exploración como el de Las Cristinas, Oro Uno, El Dorado y el Callao en la Guyana Venezolana. Apparentemente se ha logrado una estabilidad legal minera, aparecida en 1992 cuando el Ministerio de Energía y Minas le dio potestad a la Corporación Venezolana de la Guyana de otorgar contratos de exploración y explotación minera en la Guyana Venezolana. Resuelto el conflicto se reinician labores agresivas de exploración como es el caso de la Venezuela Goldfields.

En otros países de América Latina se ha incrementado el interés por la exploración y explotación del oro, como en el caso de México, Argentina y Uruguay.

De los países asiáticos, China sigue siendo una incógnita; su producción no ha aumentado en igual proporción (15%) que el año 1991, sólo fue de 7% en 1992. Factores como precios internos por debajo del internacional, gran parte de los productores son pequeños e informales y la autonomía que ya tienen las localidades, son los más dicientes para no esperar una mayor producción.

En Indonesia, la producción de 1992 se incrementó en un 85% con respecto a 1991, llegando a 40 tm de oro. Dos minas son las más importantes, una de cobre y oro, la Freeport McMoran's Grasberg-Erstberg con 20 tm y CRA's Kelian con 14,5 tm. Por la expansión de la primera, se proyectan producciones de 60-70 tm para mediados de la década de los años 90's.

En Filipinas en el período 1989-1990 se presentó la producción más baja de la década, sólo 27 tm, debido a altos costos de la minería subterránea, cortes de energía, revaluación del peso y a las presiones laborales.

Corea del Norte empezó a reportar registros de producción de 9,5 tm en 1989 y pasó sorpresivamente a 17 tm en 1992.

Vietnam, Laos y Tailandia, están ofreciendo proyectos atractivos para la inversión de compañías extranjeras.

En Oceanía, Papúa-Nueva Guinea seguirá aumentando la producción, que en 1991 fue de 71 tm. Ampliaciones en minas como Porgera, Misima y nuevos proyectos como Lihir confirman esta hipótesis, aunque hay también conflictos armados, cambios fuertes en la política minera que le son desfavorables. La mina Bougan-ville cerrada en 1989, no se reabre en el corto plazo. En Nueva Zelanda la producción aumentará con la entrada de la mina Cyprus Gold's Golden Cross y con la estabilidad de Macraes.

En Africa, sin incluir Suráfrica, la producción global decreció en 1992. Sin

Tabla 1
COMPAÑÍAS MÁS GRANDES PRODUCTORAS DE ORO
EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Toneladas)

COMPAÑÍA	PAIS DE DOMICILIO	PRODUCCION	
		1991	1992
Anglo Americana	Suráfrica	273	277
GFSA	Suráfrica	118	123
Gencor	Suráfrica	75	74
Placer Dome	Canadá	52	61
Homestake	USA	33	57
JCI	Suráfrica	47	51
Newmont	USA	49	49
Rand Mines	Suráfrica	43	44
American Barrick	Canadá	25	41
Anglovaal	Suráfrica	40	40
RTZ	Reino Unido	28	39
Lac Minerals	Canadá	28	34
Western Mining	Australia	31	26
Echo Bay	Canadá	27	24
Newcrest	Australia	22	24

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltda. Gold, 1993

embargo Ghana continúa su expansión de Ashanti, Gold Coast y del Pioneer Group's Terebeire. Zimbawe mantiene su producción a pesar de sus problemas en abastecimiento eléctrico. En Zaire cayó la producción, en un 15%. Gran parte de la producción es del sector informal, aunque hay compañías extranjeras interesadas en Africa Occidental.

La producción de Europa cayó en un 15% en 1992 con respecto al año anterior, con 28 tm, debido a menor producción de España, Francia y Finlandia.

En la tabla 1 se observa las produc-

ción de oro para 1991 y 1992 de las quince empresas más grandes del mundo occidental. Es de mencionar la mina Murunteau en Afganistán, explotada por la antigua Unión Soviética, que llegó a producir 49 tm por año a mediados de la década de los años 80's.

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

El desembolso para la exploración de nuevos yacimientos auríferos en el Mundo Occidental cayó en más del 14% con relación a 1992 (cerca a un millón de dólares). La tendencia bajista fue el resultado de algunas acciones: el retiro de impuestos favorables a concesiones de Canadá y Australia;

compañías mineras antiguas buscando regionalizar y diversificar sus esfuerzos exploratorios; compañías mineras recientes enfrentadas a su más alto riesgo de capital para proyectos relacionados con oro.

Se presentó un cambio notable durante 1992, lejos de lo establecido por los grandes países mineros donde la exploración ha sido retardada por problemas ambientales, acceso a la tierra y pago de regalías en favor de los inversionistas, especialmente en América Latina, donde las inversiones para exploración han aumentado como respuesta a las reformas en legislación minera, régimen de impuestos y normas gubernamentales para los propietarios extranjeros.

Durante 1992, las reservas de oro, medidas e inferidas aumentaron en 1%, 12.770 t. En contraste con el crecimiento de las reservas en USA y Australia, que fueron atribuibles a las expansiones oportunas de las operaciones mineras existentes y al agotamiento de reservas económicamente explotables de Canadá y Suráfrica.

Mientras Canadá y Suráfrica se enorgullecen de la riqueza de sus recursos, la minería requiere profundamente un gran capital de inversión, que fomenta la exploración en un ambiente depresivo por los bajos precios del oro.

Las reservas de oro en otros países han crecido no sólo por el incremento de las operaciones mineras existentes sino por el descubrimiento de nuevas fuentes mineralizadas, resulta-

do de programas exploratorios patrocinados por inversión extranjera.

Las reservas totales de oro, en el mundo occidental, se han incrementado a pesar de las partidas reducidas asignadas a la exploración. Las razones son: en primer lugar los beneficios obtenidos, a finales de los años ochenta, por las grandes inversiones hechas para exploración y en segundo término, el mejoramiento la productividad de la exploración ha mejorado, con las compañías mineras que tienen áreas definidas, en los alrededores de las operaciones existentes, metodología efectiva para incrementar las reservas a corto plazo.

Además, ayudados por los avances tecnológicos y las exploraciones rudimentarias de carácter informal que hacen una importante contribución para la consecución de nuevas fuentes de reservas principalmente en Australia, donde se han descubierto, con este sistema, buen nú-

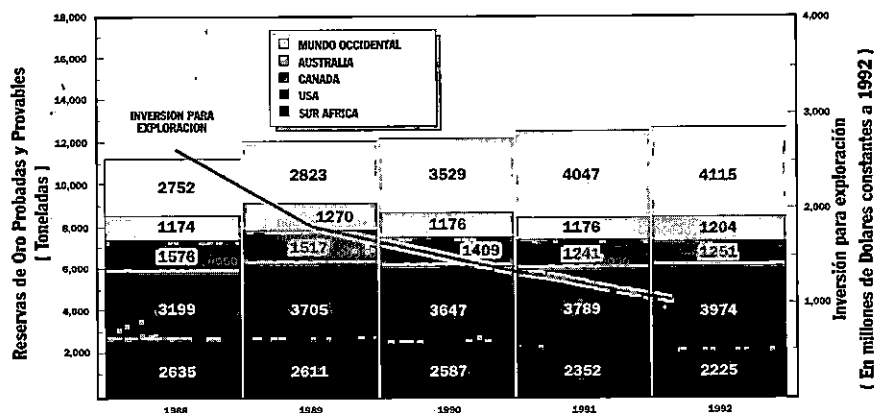
mero de yacimientos. Finalmente, la reducción de inversión, representa menor eficiencia en los programas de exploración, particularmente donde incentivos gubernamentales previos, tienden a subsidiar una actividad exploratoria deficiente, como sucede en el Canadá.

Los datos sobre reservas de oro e inversión para exploración, que se grafica en la figura 1, muestra la reducción de inversión para la exploración a partir de 1988 y el modesto incremento de las reservas totales del mundo occidental, no obstante, la reducción de capital para la prospección de nuevas fuentes de reservas.

En general, se puede decir que aunque las reservas totales se han incrementado existe un descenso importante en gastos de exploración. En la tabla 2 se presentan las reservas de oro de los principales países productores del mundo.

INVERSIÓN PARA EXPLORACION PERIODO 1988 -1992

Figura 1



Fuente: Modificada de Golf 1993

Tabla 2
RESERVAS DE ORO REPORTADAS PARA EL MUNDO OCCIDENTAL
 (tm - medidas más indicadas)

PAISES	1988	1989	1990	1991	1992
Suráfrica	2035	2611	2587	2362	2225
USA	3199	3705	3647	3788	3974
Canadá	1576	1517	1409	1291	1251
Australia	1174	1270	1176	1176	1204
Resto del Mundo	2752	2823	3529	4047	4115

Fuente: Gold 1993

TIPOS DE MINERIA

La minería de oro se realiza entre un 75 y 85% a cielo abierto y el porcentaje restante por métodos subterráneos. A cielo abierto sobresalen las operaciones, cuya vida de la mina varía entre 10 y 15 años; ocurre en depósitos de oro diseminado, a tasas que oscilan entre 7.000 y 40.000 tm/día con tenores de 0,6 a 2 g de Au/tm; de 5 a 400 millones de tm de reservas, y con inversiones que van desde 3,4 a 500 millones de dólares (Kalgoorlie en Australia y Vaals Reef en Africa respectivamente). También se explotan depósitos pequeños (8,7 millones de toneladas) de mayor grado (5,9 g/tm de Au) para una duración de 9,5 años, como Crown Jewel en Kettle River, USA.

Los depósitos aluviales son aún de gran importancia, operan entre 5.000 y 70.000 m³/día con tenores entre 0,1 y 0,7 g/m³ de Au. En promedio, este tipo de minería tiene productividades entre 20 y 150 tm/persona.

En contraste con lo anterior, en la CEI la mitad de la producción proviene de artesanos y cooperativas. No se

prevén incrementos en la producción primaria de oro debido a la baja inversión en exploración, al cambio político y económico de la región.

Además, los precios reales internos son inferiores a los del mercado mundial. Actualmente se explotan principalmente aluviones.

En la minería subterránea, los depósitos filonianos y los asociados a metaconglomerados son los más comunes. Operan entre 1.000 y 5.000 tm/día, con tenores de 5 a 70 g de Au/t. La mina Hishikari en el Japón, está considerada como una de las más ricas del mundo 70 g de Au/tm. Por lo general los proyectos son de mayor duración, 20 a 50 años.

Los métodos más usuales son cámaras y pilares (Room and Pillars), almacenamiento temporal, de bloques (Sublevel Stopping), hundimiento de bloques (Block Caving), corte y relleno (Cut and Filling); con productividades que varían de 1 a 25 tm/persona.

En el caso de Suráfrica se trabajan con menas de bajo grado a grandes

profundidades (3.000 a 4.000 m). Muchas de las minas manejan una combinación de costos de equilibrio, incrementos en los tenores, un manejo exitoso en las ventas y racionalización de los procesos (eliminación de la actividad manual). Los productores se vieron favorecidos en el segundo semestre de 1992 cuando el rand tuvo una devaluación del 10%. Para una muestra de 49 minas, la producción promedio de oro en 1992 fue de 12,5 g/tm.

En Australia sobresale la gran minería de depósitos diseminados, descubiertos cerca a sitios mineros históricos en el Occidente. Aunque se preveía la declinación de la producción debido al cierre de minas a cielo abierto de corta vida desarrolladas en los años 80's, éstas siguen operando con menas de depósitos satélites o aumentado sus reservas por el cambio a la operación subterránea además favorecida por la debilidad del dólar australiano frente al dólar estadounidense.

Cada vez, la tendencia es trabajar depósitos de bajo tenor a mayores profundidades, así como a recuperar los subproductos, demandando así alta tecnología en procesos mineros y organizaciones eficientes.

No obstante, la tendencia por los macroproyectos en las décadas del 70 y 80 (500.000 a 1'000.000 onzas troy por año) el interés de las multinacionales ha cambiado hasta el punto de optar por proyectos pequeños y eficientes (20.000 a 100.000 onzas troy por año) para la década de los años noventa.

Estructura de la Industria

Los procesos de beneficio más utilizados son el Heap Leaching, usando carbón activado (CIL) y pulpa (CIP). El pretratamiento de la calcinación y la tostación son comunes cuando las menas son refractarias. La concentración por gravedad, la flotación total y selectiva, y la cianuración siguen siendo los procesos clásicos. Las investigaciones se orientan a mejorar el proceso desde el arranque del mineral, la disminución de energía en los molinos y la optimización de operaciones unitarias como filtración, espesamiento y floculación selectiva. Una vez el oro es lixiviado con cianuro o peróxido de hidrógeno, por agitación o presión, la solución pasa por circuitos de electrowinning de alta eficiencia y posteriormente a electrorrefinación. También se investigan procesos alternos a la cianuración, con el fin de buscar métodos menos contaminantes. Obviamente estos procesos deben manejarse con tecnologías limpias que no afecten acuíferos, la biota y el hombre.

La estructura de costos de la industria minera tiene como variable importante el precio del oro, como resultado de que se opera cerca de los tenores críticos. Los costos operacionales y totales promedios estuvieron entre 247 y US\$300 por onza troy en 1992 (5% por debajo de los niveles de 1991) debido principalmente a la devaluación de 3 a 6% en países como Australia, Canadá y Suráfrica; este último a mediados de los años 80's tenía los costos totales más bajos pero pasó a tener los más altos, US\$-324/onza troy. En los últimos años Papúa-Nueva Guinea tiene los costos operacionales y totales más bajos, 123 y US\$209/onza troy.

Los principales procesos de beneficio y metalurgia extractiva utilizados para la recuperación del oro se muestran en las tablas 3 y 4.

Productos Finales y sus Aplicaciones

La más importante es la tendencia para la fabricación de joyas tanto en

los países desarrollados como en los países del tercer mundo. Entre los años 1986 y 1992 la tasa de crecimiento anual en los países en vía de desarrollo fue de 17% comparada con sólo el 8% de los países desarrollados. Debido posiblemente a la inestabilidad del precio y al incremento del consumo en artículos de joyería en los países asiáticos; los países desarrollados detuvieron la fabricación de artículos de oro entre 1985 y 1987. Además, el efecto de la crisis aguda en los años siguientes a 1982 y al colapso de los precios del petróleo, tuvieron un efecto significativo sobre la demanda en América Latina y en el Medio Oriente.

No obstante, que el crecimiento de la Industria joyera en los países desarrollados sobrepasó el 100% del consumo entre los años 1986 y 1992, se considera el fenómeno como decepcionante, ya que el mismo período reflejó los niveles más bajos de crecimiento económico y principalmente una tendencia de recesión a partir de 1990. La razón fundamental fue la

Tabla 3
METODO DE BENEFICIO DE MINERALES AURIFEROS PARA PRODUCCION DE PRECONCENTRADOS

CLASE DE SEPARACION	NOMBRE	PASOS	APARATOS	REATIVOS
Mecánica	Beneficio gravimétrico	Concentración	Batea. Jigs. Canales Mesas Vibratorias Centrifugas Concentradoras Espirales Concentradoras. Ciclón CBC	
	Separación por medio denso	Beneficio por medio denso	Separación por medio denso Matraz de vidrio	Metawolframato 3,1 g/cm ³
Eléctrica	Beneficio Electrostático		Separador electrostático	

Fuente: Hentschel y Priester, 1991

Tabla 4
METODO DE BENEFICIO DE PRECONCENTRADOS AURIFEROS A CONCENTRADOS DE ORO COMERCIALIZABLES

CLASE DE SEPARACION	NOMBRE	PASOS	APARATOS	REACTIVOS
MECANICA	Escogido a mano Aglomeración Carbón - oro Destilación	Aglomeración Separación	Aparato para la reacción	Aceite Carbón activado.
TERMICA	Tostación y cribado. Volatización de oro. Volatización. Borax, Soda, Potasa. Fundición. Ensayo al fuego.	Tostación y cribado Tostación Cloruyente Separación Separación de oro Fundición Separación Copelación	Horno de tostación Fundición Horno de mufla crisol, copela	Sal de cocina Gas de cloro Horno, crisol Plomo Bórax,soda, potasa
QUIMICA	Amalgamación con circuito de mercurio cerrado a abierto Lixiviación con cianuro Lixiviación con tiourea Clorinación Proceso bio-d-leaching Lixiviación brine Otros tipos de lixiviación Tensión superficial mecánica	Aleación Destilación Separación Solución química como complejo, precipitación, adsorción destilación. Solución química como complejo, adsorción, destilación. Formación de complejos halógenos Flotación Indirecta Directa Acondicionamiento Concentración Lavado	En bocarte Tambor de amalgamación.Trampas para el oro.Canaletas.Mesa de amalgación.Batea.Centrífuga.Prensa de amalgación.Matraz de destilación. Tanques de lixiviación aparatos de precipitac. aparatos de adsorción Tanques de lixiviación aparatos de adsorción Tanques de reacción tanques de lixiviación Tanque de acondicionamiento Celda de flotación.	Mercurio. Eventualmente Hidróxido de sodio. Cloruro de amonio. Cianuro o ácido nítrico Cianuro de sodio, CaO para ajustar el valor pH, zinc o carbón activo Tiourea, reactivos de pH polvo de Al o de Fe,SO2 Gas de cloro, Brometil Hidrato Soluc. de sal, peróxido de Hidrógeno, permanganato, H2SO4 Sol. tiosulfato, rodonato polisulfuro. Espumante, Colector Depresor, Activadores
MAGNETICA	Separación magnética	Concentración	Separador magnético	
BIOLOGICA	Lixiviación bacterial			Bacterias, aire como medio de oxidación

Fuente: Hentschel y Priester, 1991

utilización de metal, proveniente de artículos antiguos de oro que son negociables a pequeña escala y a precios reducidos por considerarse material de deshecho.

Excluyendo la joyería, en la fabricación de otros productos industriales, aleaciones odontológicas y acuñamiento de monedas se utilizaron 406 t durante 1992. Por otra parte, disminuyó el uso del metal para la industria electrónica, después de 6 años de crecimiento constante, esto evidencia los problemas mundiales permanentes en la industria de los computadores, el principal sector industrial para el uso del oro. La reducción de precios de éstas unidades a nivel mundial, fue de 2,5% durante 1992, posiblemente como resultado de una caída dramática en la estructura principal del sector, compensada por un crecimiento desordenado en la elaboración de computadores personales (PC) de tamaño intermedio.

Esto se refleja en las cifras de la demanda de oro ya que las partes de los PC cada vez requieren menos metal en la complejidad de sus interconexiones.

Además, la utilización de oro también decrece para el consumo de aparatos electrónicos y maquinaria en general, lo mismo que para la industria militar, contribuyendo a la caída total del uso industrial del oro.

El oro utilizado en odontología, aumentó aproximadamente 60 t durante 1992, quinto año consecutivo con crecimiento en la demanda para este sector.

La reducción del precio del oro repercute en su utilización además porque los sustitutos son generalmente menos efectivos. La tendencia para reducir el contenido promedio de oro de las aleaciones dentales ha disminuido y en algunos países donde los odontólogos persisten con la medida, han sido castigados con la pérdida de la tarjeta profesional. Sin embargo, aún existen materiales competitivos tales como la porcelana y el titanio.

La pregunta final es ¿cómo reaccionaría la demanda ante una ola alcista en los precios del oro?. Sobre este punto, es interesante anotar que la mayoría de los observadores industriales consideran que un incremento medianamente significativo en el precio del oro causará un impacto negativo en la demanda del metal.

Otros usos, tanto decorativos como industriales, ascendieron durante 1992, a la cifra récord de 81 toneladas, posiblemente debido al incremento de la demanda proveniente de Europa, India y varios países del Lejano Oriente.

Este sector incluye una amplia variedad de productos de oro los cuales encuentran aplicación en un rango mayor de productos terminados.

La principal aplicación está en la electroplata usando oro, potasio y cianuro, aunque existen también una variedad amplia de líquidos de revestimiento. Una de las áreas de mayor crecimiento, en los últimos años, corresponde al uso del metal en trabajos artísticos. En Japón, algunas pinturas son montadas en hojas de

medio kilogramo de oro; también como estatuas de Buda en oro sólido.

En Taiwan, varios artistas han producido modelos de animales a escala real en oro de 24 kilates. En la China varios fabricantes han recibido solicitudes ordenando oro sólido para sus estatuas y modelos detallados. En USA la utilización del oro, en esta categoría, supera las 20 t al año.

La fabricación de medallas y de monedas conmemorativas durante 1992 se incrementó llegando a utilizar cerca de 27 t de oro.

Las monedas con destino a Arabia Saudita están por debajo del monto alcanzado en años anteriores; sin embargo cifras significativas de monedas, son vendidas cada año especialmente a personal extranjero visitante. El acuñamiento de monedas se incrementa anualmente en países como Yemén, India y Jordania.

En contraste con lo anterior el consumo de oro para la fabricación oficial de monedas en el mundo occidental, declinó en 1992. Sin embargo, una ligera recuperación en este rubro fue ocasionada por una demanda local de monedas relacionadas con la Filarmónica de Austria y por la venta de monedas de origen alemán, promocionadas a finales del año 1992 y principios de 1993. Los usos industriales de oro a nivel mundial se indican en la tabla 5.

Características del Mercado

Un análisis del precio del oro, durante 1992, indica que el mercado con-

Tabla 5
USOS INDUSTRIALES DEL ORO EN PAISES DESARROLLADOS Y EN VIA DE DESARROLLO

(Incluyendo material de desecho con oro reciclable)

PAISES DESARROLLADOS	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
- Joyería	453,9	514,4	580,4	593,6	588,3	675,4	816,5	871,3	884,2	928,1
- Electrónica	105,8	129,3	112,9	120,6	119,6	127,6	131,4	139,1	142,4	130,5
- Odontología	50,7	51,7	52,2	50,1	46,3	48,8	48,4	49,6	51,9	55,3
- Otros usos industriales	50,5	53,3	50,4	52,4	53,2	55,5	58,6	58,3	57,8	61,6
- Venta de medallas	22,3	15,7	3,4	4,2	6,5	7,8	8,1	8,6	8,9	5,7
- Venta de monedas	152,2	124,3	91,0	300,9	170,2	98,5	98,6	99,1	122,6	77,1
SUBTOTAL	835,4	888,7	890,3	1121,8	984,1	1.013,0	1.161,6	1.226,0	1.267,8	1.258,4
PAISES EN VIA DE DESARROLLO										
- Joyería	397,3	586,9	617,1	583,1	634,4	866,3	1.095,9	1.174,6	1.247,3	1.532,9
- Electrónica	1,7	2,3	2,8	3,7	6,1	6,9	7,6	9,4	9,8	10,9
- Odontología	1,3	1,4	1,8	1,8	2,2	2,5	3,3	3,6	4,0	4,4
- Otros usos industriales	3,2	3,3	5,1	5,2	4,4	5,4	6,5	8,5	8,91	9,4
- Venta de medallas	9,4	28,4	11,0	7,6	9,5	11,4	12,4	12,9	16,8	21,7
- Venta de monedas	12,9	6,2	28,2	47,4	32,4	31,0	36,8	18,8	16,2	11,5
SUBTOTAL	425,8	628,5	666,0	648,8	689,0	923,5	1.162,5	1.227,8	1.303,0	1.600,8
TOTAL	1.261,2	1.517,2	1.556,3	1.770,6	1.673,1	1.937,1	2.324,1	2.453,8	2.570,8	2.859,2

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltda. Gold 1993

tinúa sufriendo la caída permanente de los precios que comenzó a partir de 1968. Pero paradójicamente, el año inmediatamente anterior, demostró claramente que toda la fuerza de la demanda del metal, está particularmente orientada a la joyería, ya sea como adorno o como atesoramiento. La subida repentina de 329 t de oro en 1991 para la fabricación de joyería, fue la tercera más grande jamás registrada y la más sorprendente, dado el ambiente recesionario continuado en el mundo industrial.

Es así como los incrementos significativos, no se reflejaron en los dos fabricantes más grandes a nivel mundial, Italia y USA, sino en los países en vía de desarrollo, los cuales contabilizaron, al menos la mayor parte del incremento de producción en joyería. Aunque el alza fue ampliamente distribuida y basada esencialmente en

el progreso y prosperidad de muchos países de Asia. No hay duda que el rápido y continuado crecimiento económico de China fue uno de los factores principales para el aumento en la fabricación de joyas en países del Sureste Asiático.

Varios componentes en la oferta se incrementaron significativamente en USA, durante el último año; pero la razón principal para justificar los precios bajos fue la disponibilidad de 599 t netas de oro, procedentes del sector oficial, la cifra más alta desde 1968, la cual excedió ampliamente las 544 t que se colocaron durante 1979, cuando el Tesoro de los Estados Unidos ofreció oro, bajo el sistema de remates y éstos alcanzaron su mayor éxito en ventas. La producción minera del Mundo Occidental se incrementó durante 1992, aunque su alza fue relativamente pequeña, com-

parada con el aumento ocurrido a finales de la década de los años 80's.

La producción neta de lingotes de oro procedente de los países que conformaron el antiguo Bloque Comunista, declinó dramáticamente como resultado de un repentino incremento de importaciones de oro de la China.

Las ventas de oro de la Comunidad de Estados Independientes-CEI, se mantuvo estable, a pesar de la caída en los niveles de producción de Rusia, ocasionada por la liquidación del trueque de oro practicado en el mercado del antiguo Bloque Soviético.

DEMANDA

La demanda para los inversionistas del Mundo Occidental mostró recuperación en el segundo semestre de 1992. Los factores principales fueron las tasas de interés bajas, la elección

presidencial para USA y la incertidumbre política y económica de Europa. En contraste, jamás existió una demanda especulativa de oro, y sí, por el contrario, un acomodo a los cambios futuros del mundo, declinando a los niveles más bajos en la demanda, solamente alcanzados a finales de la década de los años 70.

Los cambios de nivel de la oferta y la demanda del oro a partir de 1968, se grafican en la figura 2, donde se señalan los componentes más significativos del mercado en la producción minera y en la fabricación de joyería. La influencia de la demanda de joyas relacionadas con la prosperidad o enriquecimiento no se puede ver claramente en el gráfico, pero el factor más dicente de esta relación está demostrado si se compara la produc-

ción de joyas de los años 1968 y 1992; allí se observa que tanto el precio del oro como la fabricación de joyas se duplicaron en los últimos 25 años.

La figura 2 también señala la incidencia de los deshechos industriales auríferos (Scrap) dentro del mercado, y la utilización del oro obtenido a partir de ellos, durante la década de los años ochenta.

Además se pueden apreciar otros componentes que tuvieron fluctuaciones considerables. La demanda para inversión y elaboración de monedas tuvo su mejor época durante los períodos inflacionarios anteriores a los períodos de mayor recesión. El crecimiento permanente de las barras de oro para atesoramiento creció a finales de la década de los años 70,

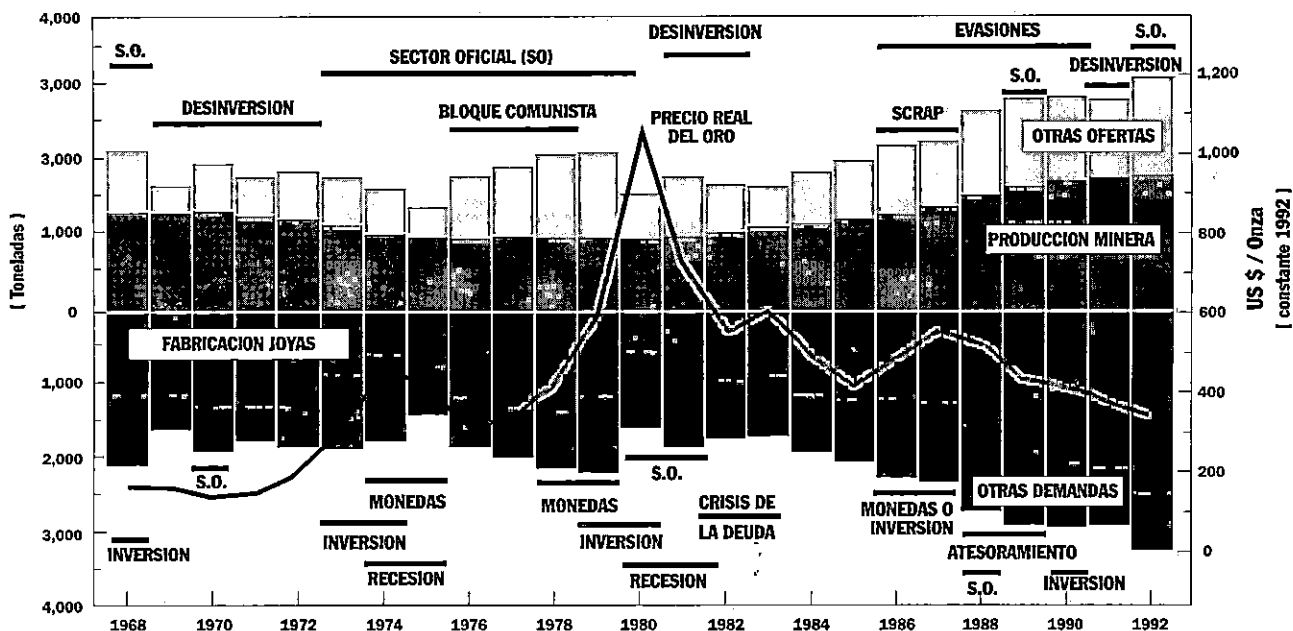
paralelamente con el auge económico de algunos países asiáticos y del Medio Oriente. Finalmente, el sector oficial se muestra como el principal cliente, para el período 1968-1993, con adquisiciones netas cercanas a las 1.700 toneladas de oro.

Durante 1992, se mantuvo deprimido el crecimiento económico en los países desarrollados. El inesperado auge de la demanda de oro fue sorpresivo y sólo justificado por el incremento en la fabricación de joyería, la cual empleó algo más de 329 t, equiparables al incremento total obtenido en la producción y que además fue considerado como cifra récord para los últimos cinco años.

Lo anterior fue el resultado de la influencia combinada de altas demandas pro-

RESUMEN DE LA DEMANDA Y OFERTA DEL ORO EN EL MUNDO OCCIDENTAL

Figura 2



Fuente: Modificado de Gold, 1993

cedentes de Asia y al reabastecimiento de artículos de joyería para la venta en el Medio Oriente y Norteamérica.

Algunos de los fabricantes de joyas más grandes del mundo, como Italia, se beneficiaron de esa tendencia y ganaron acciones dentro del mercado de Europa. La joyería mostró durante 1992, el mayor incremento de los últimos años, sólo para el Medio Oriente el alza, sobrepasó el 25%. En el Lejano Oriente, la producción aumentó no sólo por los bajos precios y la reducida demanda de los consumidores, sino también, por el alza en las exportaciones a China, cuyos habitantes llegaron a convertirse en los consumidores de joyas más importantes a nivel mundial.

India mostró un crecimiento significativo en la demanda, debido a la combinación de una mejor gestión económica y a la caída constante en los precios del metal, que influyó en la rápida liberalización de las ventas de oro.

Otros artículos, para cuya fabricación se utiliza oro como materia prima, y los cuales dependen fundamentalmente de las tendencias del mundo industrial, mostraron un incremento más modesto durante 1992. El acuñamiento de monedas cayó repentinamente ante la ausencia de programas de aniversario como el de Akihito quien utilizó cerca de 60 toneladas de oro en 1991 para la emisión de monedas conmemorativas.

Hubo declinación en tres países del Lejano Oriente, además del desatesoramiento que se presentó en Brasil e

Indonesia. Pero esas pérdidas fueron compensadas en otras áreas como en el Medio Oriente.

Otra región, de gran importancia para el atesoramiento de oro en lingotes fue Indochina que ha venido incrementando la demanda en los últimos años, utilizando el oro como moneda oficial, tanto a nivel doméstico como para transacciones internacionales.

La figura 3 muestra las variaciones de la demanda de oro en el mundo occidental para el período 1983-1992.

OFERTA

La producción minera de oro, en el Mundo Occidental, se incrementó en 1992 a 1.841 toneladas, un 3,7% en relación con el año inmediatamente anterior que sólo alcanzó 1.765 toneladas. Sobre una base mundial de producción, el oro se incrementó, para el mismo período en 2,9% alcanzando 2.217 toneladas (Tabla 6). Incrementos en la producción fueron registrados en varios países, pero en

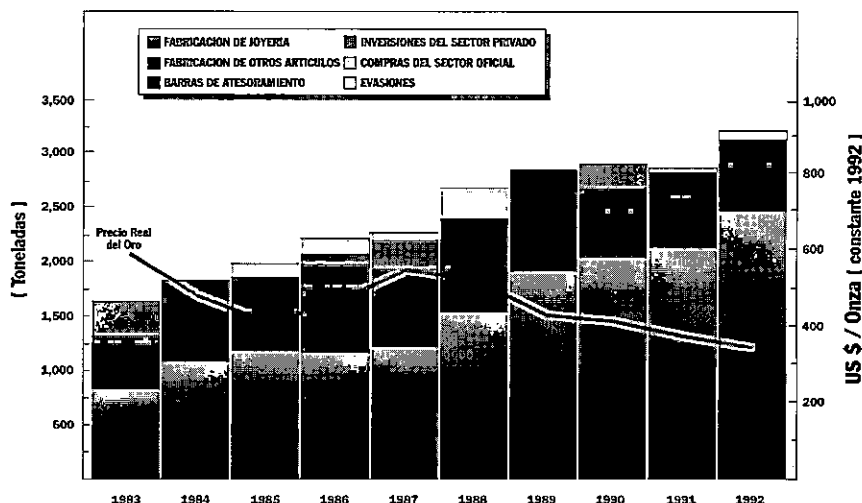
particular vale destacar a los E.U. cuya oferta se aumentó en 10% alcanzando 322 toneladas durante 1992, como resultado de la puesta en marcha de nuevos proyectos. Suráfrica, el mayor productor de oro del mundo, también tuvo un ligero incremento de 2,2% alcanzando 614 toneladas. Australia, a la cual se le pronosticaba una fuerte caída en su producción, acercó su oferta a la alcanzada en 1990.

También, hubo un continuo crecimiento en la producción de varios países en desarrollo; cabe destacar Indonesia, Papúa-Nueva Guinea y Ghana. En Latinoamérica, objetivo de muchas compañías norteamericanas, la producción de oro, aumentó débilmente durante el período 1991-1992.

El auge de la producción minera en el Mundo Occidental fue de 3,7% durante 1991, fenómeno sorprendente si se tiene en cuenta que los precios de oro han venido disminuyendo a partir de

DEMANDA DEL ORO EN EL MUNDO OCCIDENTAL

Figura 3



Fuente: Modificado de Gold, 1993

Tabla 6
PRODUCCION MUNDIAL DE ORO
 (toneladas)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
EUROPA										
Europa Occidental	16.5	15.3	16.9	18.6	24.9	28.1	28.7	23.5	20.4	22
Europa Oriental	5.2	5.4	5.6	5.1	5.3	5.5	4.4	4.6	5.2	6
TOTAL EUROPA	21.7	20.7	22.5	23.7	30.2	33.6	33.1	28.1	25.6	28.8
NORTE AMERICA										
Estados Unidos	79.5	118.3	154.9	201.0	265.5	294.2	293.5	322.2	334.4	328
Canadá	90.0	105.7	116.5	134.8	159.5	167.0	176.6	157.4	151.0	149
TOTAL NORTEAMÉRICA	169.5	224.0	271.4	335.8	425.0	461.2	470.1	479.6	485.5	477
LATINOAMERICA										
Brasil	72.3	67.4	84.8	102.2	101.2	84.1	78.6	76.5	75.7	75
Chile	22.8	24.0	23.3	26.7	29.0	33.3	33.0	39.5	39.5	43
Colombia	26.4	27.1	32.5	33.4	31.7	32.5	30.7	29.9	26.4	24
Perú	10.9	10.9	10.8	10.0	12.6	14.6	15.1	15.6	-	-
Venezuela	12.0	15.0	16.0	20.0	17.1	14.2	13.2	11.7	-	-
México	8.0	8.3	9.0	10.4	10.8	9.6	8.5	9.9	-	-
Bolivia	6.0	6.0	6.0	9.0	11.5	10.4	10.0	7.9	-	-
Ecuador	3.0	6.0	8.0	9.0	11.3	9.3	7.5	6.8	-	-
República Dominicana	10.4	9.1	7.9	6.7	5.5	4.3	3.6	3.0	-	-
Otros	6.7	7.2	7.3	7.3	6.4	7.4	8.0	8.9	59.5	69
TOTAL LATINOAMÉRICA	178.5	181.0	205.6	234.7	237.1	219.7	208.2	209.7	224.6	244
ASIA										
Indonesia	5.6	8.4	12.2	12.3	10.8	13.3	18.4	40.4	46.3	50
Filipinas	36.9	38.7	39.5	39.2	38.0	37.2	30.5	27.2	28.0	27
Japón	5.3	10.3	8.6	7.3	6.1	7.3	8.3	8.9	-	-
Malasia	2.6	2.6	2.6	3.2	3.0	2.9	2.8	3.5	-	-
Corea del Sur	1.0	3.5	3.8	4.4	4.9	2.2	2.1	2.0	-	-
Otros	2.1	2.5	1.7	3.5	5.6	7.9	8.9	9.9	27.5	30
TOTAL ASIA	53.5	66.0	68.4	69.9	68.4	70.8	71.0	91.9	101.8	107
AFRICA										
Suráfrica	671.7	640.0	607.0	621.0	607.5	605.1	601.1	614.1	619.5	587
Ghana	12.0	11.5	11.7	12.1	15.3	17.3	27.3	34.0	41.4	48
Zimbawe	14.7	14.9	14.7	14.8	16.0	16.9	17.8	18.5	21.4	23
Zaire	8.0	8.0	12.0	12.5	10.6	9.3	8.8	7.0	-	-
Otros	17.0	18.2	25.0	27.5	25.2	25.0	30.2	33.2	46.1	52
TOTAL AFRICA	723.4	692.6	670.4	687.9	674.6	673.6	685.2	706.8	728.4	710
OCEANIA										
Australia	58.5	75.1	110.7	157.0	203.6	243.1	236.1	240.0	247.2	261
Papua Nueva Guinea	31.3	36.1	33.9	36.6	33.8	33.6	60.8	71.2	61.8	56
Nueva Zelandia	0.9	1.4	1.2	2.5	5.0	6.0	7.5	10.2	-	17
Fiji	1.9	2.7	2.8	4.1	4.4	4.1	2.8	3.0	-	-
Total Oceanía	92.6	115.3	148.6	200.2	246.8	286.8	307.2	324.4	324.0	334
TOTAL MUNDO OCCID.	1239.2	1299.6	1386.9	1552.2	1682.1	1745.7	1774.8	1840.5	1889.8	1900
OTROS PAISES										
Unión Soviética	271.0	275.0	277.0	280.0	285.0	270.0	252.0	273.0	244.0	250
China	59.0	65.0	72.0	78.0	86.0	95.0	110.0	118.0	127.0	135
Corea del Norte	0	0	0	0	9.5	13.0	13.0	17.0	-	-
Mongolia	0	0	0	0	0	5.0	4.0	4.0	-	-
TOTAL OTROS PAISES	330.0	340.0	349.0	358.0	380.5	383.0	379.0	376.0	390.0	404
TOTAL MUNDIAL	1569.2	1639.6	1735.9	1910.2	2062.6	2128.7	2153.8	2216.5	2279.8	2304

Fuente: Gold 1993; E&MJ. 1985
 (-): No se tiene información
 (e): Estimado.

1988. El incremento de la oferta, aparentemente fue el resultado de dos aspectos diferentes, el silencio de la industria minera (la producción de Suráfrica se incrementó) y la demora para iniciar los nuevos proyectos y expansiones mineras financiadas, recientemente por USA, en varios países del tercer mundo. De los productores mayores, únicamente Canadá mostró un decrecimiento sustancial en su producción.

Se incrementó la producción de oro marginal, procedente del material de deshecho industrial. Algunas cantidades relacionadas a esta fuente de material reciclable, se pueden contabilizar no obstante que el monto mayor corresponde a un intercambio de joyería antigua por actualizada; estas cantidades de oro fueron ajenas a los mercados del metal llevado a cabo por las industrias mayores.

Dos componentes en la producción, decrecieron durante 1992. Las ventas

procedentes del antiguo Bloque Comunista que disminuyeron significativamente, debido a las grandes inversiones chinas en la compra de lingotes de oro, (diferentes a la producción procedente del nuevo mercado del CEI) y a la liquidación de los tradicionales intercambios comerciales de la Antigua Unión Soviética.

La figura 4 muestra las variaciones en la producción de oro en el Mundo Occidental durante el período 1983-1992

PRECIOS

Por quinto año consecutivo, el precio del oro en 1992 cerró por debajo del nivel con el que inició el año. El precio promedio del metal declinó un 5% con relación al año anterior y presentó un valor promedio de US\$343,95 por onza (Figura 5).

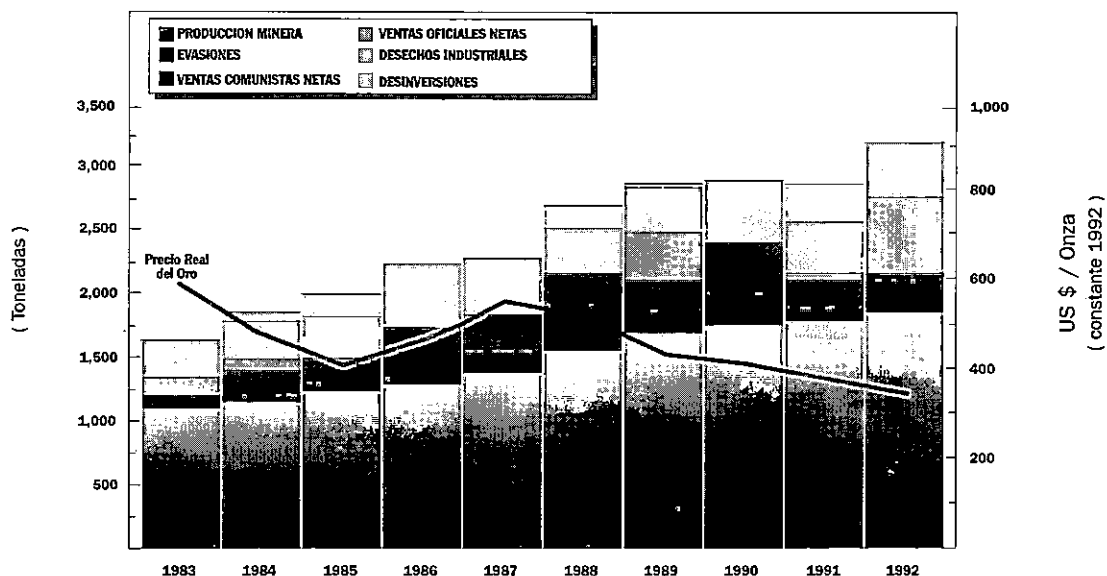
El precio promedio para 1994 fue de US\$13,21/onza, 7% por encima del precio de 1993 que fue US\$359,82/on-

za, representando el primer incremento significativo desde 1987 (hablando en términos de dólar real.) E&MJ-1985. La tendencia de precios bajos ha sido resultado de las ventas procedentes del sector oficial, además de ventas soterradas de los productores, los cuales excedieron sustancialmente la demanda física del metal. La influencia de los factores relacionados con la producción no son usualmente perceptibles en los grandes mercados.

Las ventas sustanciales hechas a los E.U. por Bélgica y Holanda fueron llevadas a cabo de una manera altamente profesional tanto con la ayuda de los participantes del sector oficial como de los representantes de los bancos comerciales, evitando así algún desorden del mercado. Aún así, rumores procedentes del Banco Central Europeo señalan que una buena cantidad de oro fue subastada para presionar la baja de los precios del metal. Pero, si esas ventas de carácter

PRODUCCION DE ORO EN EL MUNDO OCCIDENTAL

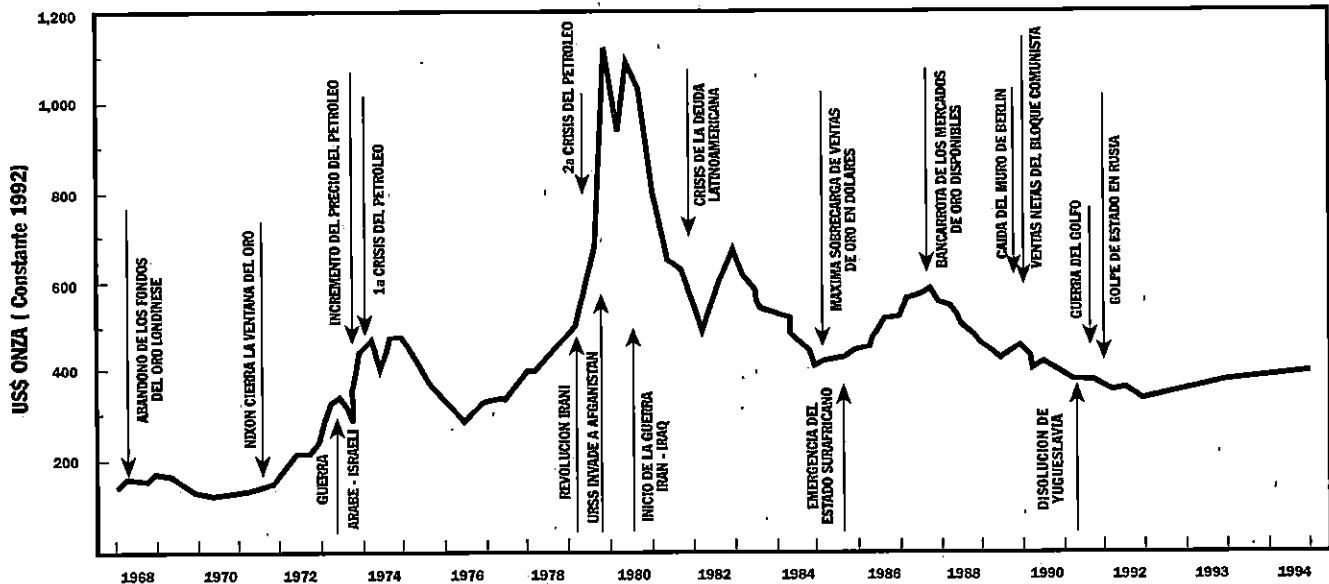
Figura 4



Fuente: Modificado de Gold, 1993

CURVA DEL PRECIO REAL DEL ORO EN EL MUNDO OCCIDENTAL E INCIDENCIA DE LOS EVENTOS POLITICO - ECONOMICOS MUNDIALES

Figura 5



Fuente: Modificado de Gold, 1993; E&MJ. 1985

Las fluctuaciones del precio en el mercado para el mundo occidental, fueron muy marcadas en las décadas de los años setenta y ochenta, como resultado de la decadencia y sentido del flujo del oro dado por sus poseedores en los sectores públicos y privados. Los cambios de sentido tuvieron como origen una combinación del desarrollo político - económico que oprimieron los principios de considerar el oro como una mercancía o producto - El primero de esos fue la inflación la cual ascendió bruscamente después de las crisis del petróleo de los años 73 y 79; no fue coincidencia de que el precio real del oro se incrementara, para la misma época, durante los años 74 y 80. -

oficial no provocaron pánico, existen dudas sobre si afectaron o no el nivel de los precios. Durante el período, en que Bélgica llevó a cabo sus ventas, el precio del oro se mantuvo muy cercano a US\$ 340 por onza troy.

También existen algunas fuerzas especulativas que modifican el presente y futuro del mercado en lo relacionado con la oferta y la demanda y en menor grado al desarrollo político y económico del metal.

El fenómeno más significativo, que afectó el precio fue, sin lugar a dudas, la crisis monetaria de la Comunidad Económica Europea la cual obligó a

ciertos países del área a la compra de oro, con carácter precautelativo. El mismo dólar se benefició de los resultados inciertos de la crisis monetaria. Como resultado de lo anterior, el precio del oro en dólares bajó, mientras que en la mayoría de las otras monedas el precio del metal se incrementó, favoreciendo las ventas procedentes de Australia y Suráfrica.

Las fluctuaciones mayores en el precio, observadas durante las décadas de los años setenta y ochenta fueron el resultado del estado anímico de los poseedores del metal, tanto en el sector privado como en el sector oficial. Los cambios anímicos fueron a su vez

el resultado de una combinación de eventos políticos y económicos, los cuales presionaron muchas veces, el desarrollo del oro como artículo de comercio. El primero de ellos fue la inflación la cual llegó a su punto máximo, por un período breve, después de las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979. No se puede considerar como coincidencia los precios más altos del oro para los años 1974 y 1980. Lo más importante, en la segunda mitad de la década de los años 70, fueron las tasas de interés nominal que estuvieron cercanas o por debajo de la tasa de inflación, con capital financiero diferente al oro, teniendo dificultad para mostrar un au-

mento real. La urgencia de comercializar el oro, a raíz de la inestabilidad política y la tensión que siguió a la revolución iraní y a la invasión soviética de Afganistán. La deficiencia de tasas de intercambio estable que contribuyeron a las diferencias dramáticas del precio del oro en algunos países.

En contraste, el pasado reciente eliminó los temores que muchos inversionistas de oro, manejaron en los años 70. El final de la Guerra Fría ha sido probablemente el hecho de mayor trascendencia. De igual manera, la inflación permanente, que fue un fenómeno duramente experimentado dentro de la vida laboral de muchos vendedores en los centros financieros del mundo; hoy es recordado temerosamente como un suceso del pasado.

Actualmente, las tasas de interés nominal, han sido sostenidas a niveles altos en todos los continentes, lo cual, conjuntamente con la baja inflación, han mantenido tasas de interés real fuertemente positivas. Con la liberación de los mercados de intercambio, el capital extranjero fluye libremente dentro de los mercados financieros, presentando al inversionista un rango amplio de alternativas para compra y venta de oro en varias monedas.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO

Las posibilidades auríferas en Colombia son tan altas como la variedad geológica de su territorio, la

cual está ordenada de oriente a occidente, con las rocas más antiguas situadas en la región de la Orinoquía-Amazonía, Escudo Guayanés y las más recientes que constituyen el marco Geotectónico Andino, conformado por las tres cordilleras.

La Provincia de la Orinoquía-Amazonía, ha generado gran expectativa no sólo porque representa el 50% del territorio colombiano, sino porque forma parte del Escudo de Guyana, una de las áreas más antiguas de la tierra, que junto con otros escudos como los de Canadá, Australia y Suráfrica, constituyen las zonas con mayor producción mineral a nivel mundial. Un aspecto relevante que sugiere el alto potencial aurífero de esta provincia, es su similitud geológica con otras áreas de escudo, de reconocida importancia aurífera tales como Witwatersrand y Ghana en Suráfrica y Jacobina en Brasil.

La Provincia Andina, constituida por las cordilleras Oriental, Central y Occidental, está conformada por unidades geológicas que incluyen cuerpos ultramáficos, basaltos oceánicos, rocas metasedimentarias, rocas metavolcánicas, rocas intrusivas félsicas, sedimentos marinos y depósitos de cuencas terciarias, en las cuales han operado diversos procesos geológicos y procesos mineralizadores que han dado lugar a diferentes tipos de depósitos auríferos de importancia económica. En la conformación de algunos depósitos minerales en esta provincia, ha jugado un papel importante el estilo estructural de los elementos geotectónicos con dirección predominantemente N-S y NW-SE, que separan los

diferentes terrenos geológicos.

Esta provincia, desde el punto de vista geológico es más conocida que la Provincia de la Orinoquía-Amazonía y posee una buena infraestructura que facilita el desarrollo de los trabajos exploratorios.

Así mismo, Colombia forma parte del Cinturón Circumpacífico, el cual constituye una de las provincias metalogénicas más importantes del mundo, que contribuye con cerca del 40% de la producción mundial de oro.

Este marco geológico complejo y variado, crea grandes expectativas en relación con el amplio rango de depósitos auríferos que pueden estar presentes. Sin embargo, la mayoría de los depósitos han sido encontrados por azar y es necesario llevar a cabo programas de exploración enfocados al descubrimiento de nuevos yacimientos para evaluar la verdadera realidad aurífera del país, que no se debe medir basada en la actual producción.

TIPOS DE DEPOSITOS

Con base en un proyecto cooperativo para evaluar los recursos minerales no combustibles de Colombia, adelantado a comienzos de la década de los ochenta, entre el INGEOMINAS y el Servicio Geológico de los Estados Unidos, se sintetizó y analizó la información geológica, geoquímica y metalogénica del país, con el fin de evaluar la posibilidad de localizar nuevos depósitos minerales dentro del marco de los terrenos litoestratigráficos.

Como resultado de este estudio, se delimitaron regiones o dominios en los

cuales un tipo particular de depósito es más probable que ocurra, presentándose por primera vez una relación directa entre los terrenos geológicos y su potencial minero, sentándose así mismo, las bases para la exploración sistemática en el país.

En el caso de los depósitos auríferos, de acuerdo con este estudio y con nuevas interpretaciones se han identificado 15 dominios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 18, 19, 21, 23, 26 y 27 (Figura 6), en los cuales pueden ocurrir 10 tipos de yacimientos auríferos: placeres, filones tipo cuarzo-adularia y sulfato ácido, hot spring, depósitos de tipo carlín y jasperoide, pórfidos auríferos, skarn auríferos, depósitos de tipo brecha, pórfidos cupríferos con oro, sulfuros masivos tipo Chipre y paleoplaceres. De estos tipos de depósito los más comunes y conocidos en el país corresponden a los dos primeros mencionados, aunque existen algunas ocurrencias de los otros, cuyo verdadero potencial se desconoce.

Depósitos de Placer

Los depósitos de placer, están ubicados tanto en la Zona Andina como en la región de la Orinoquía-Amazonía. Los placeres auroplatiníferos ocurren en los dominios 1, 2 y 3, y los auríferos en los dominios 8, 9 y 27 (Figura 6), destacándose los distritos del Bagre, Bajo Cauca-Nechí y Riosucio en Antioquia, las cuencas de los ríos San Juan y Atrato en el Chocó, Ataco en el Tolima, Serranía de San Lucas en Bolívar, Río Naya en el Valle del Cauca y Payán en Nariño, zona de Caranacoa y Naquén en Guainía y Taraira en Vaupés (Figura 7).

Los depósitos de placer se encuentran a lo largo de las cuenca interandinas de los ríos Cauca y Magdalena, así como aquellos que vierten sus aguas directamente a los océanos Atlántico y Pacífico tales como el Atrato, San Juan, Naya, Mira, Calima, Timbiquí, Guapí, Patía y Telembí. En el sector oriental se encuentran en los departamentos de Guainía y Vaupés. La tectónica reciente ha jugado un papel importante en la acumulación de la mayor parte de estos depósitos que están relacionados con aluviones, coluviones, eluviones y terrazas del Cuaternario.

Depósitos Filonianos

Este tipo de depósito tiene una amplia distribución en el territorio nacional, encontrándose en los dominios 3, 4, 5, 6, 7, 9, 18, 19, 21, 23 y 27 (Figura 6), en los cuales se destacan la zona de Marmato en Caldas, Segovia en Antioquia, Vetas y California en Santander, El Diamante en Nariño, Serranía de San Lucas en Bolívar, Santa Isabel en el Tolima, Naquén en Guainía y Taraira en Vaupés (Figura 7).

La mayor parte de los depósitos filonianos son de tipo cuarzo-adularia y unos pocos de sulfato ácido (Dominios 7 y 21); ocurren dentro o adyacentes a rocas volcánicas, plutones, cuerpos hipoabisales y rocas metamórficas. Consisten en venas de cuarzo con sulfuros de metales base, pirita, arsenopirita, oro y plata; las mineralizaciones filonianas en la región de la Orinoquía-Amazonía son relativamente escasas en sulfuros comparadas con los de la Zona Andina.

Hot Spring

Conocidos como depósitos de fuentes

termales asociados con rocas volcánicas ácidas. En Colombia se conoce un prospecto en la Serranía de San Lucas en el Departamento de Bolívar denominado El Piñal (Figura 7). De acuerdo con el ambiente geológico, los dominios 4, 6, 7, 18, 19 y 21 (Figura 6), se consideran favorables para ubicar depósitos de este tipo. La mineralización aurífera se caracteriza por presentarse en stockwork, asociada con intensa silicificación, argilización, brechamiento hidrotermal y sulfuros simples de antimonio, arsénico y mercurio, además de pirita. Estos depósitos usualmente presentan reservas del orden de varios millones de toneladas, con tenores promedio de 0,5 a 2 g/t o más.

Depósitos de Tipo Carlin y Jasperoide

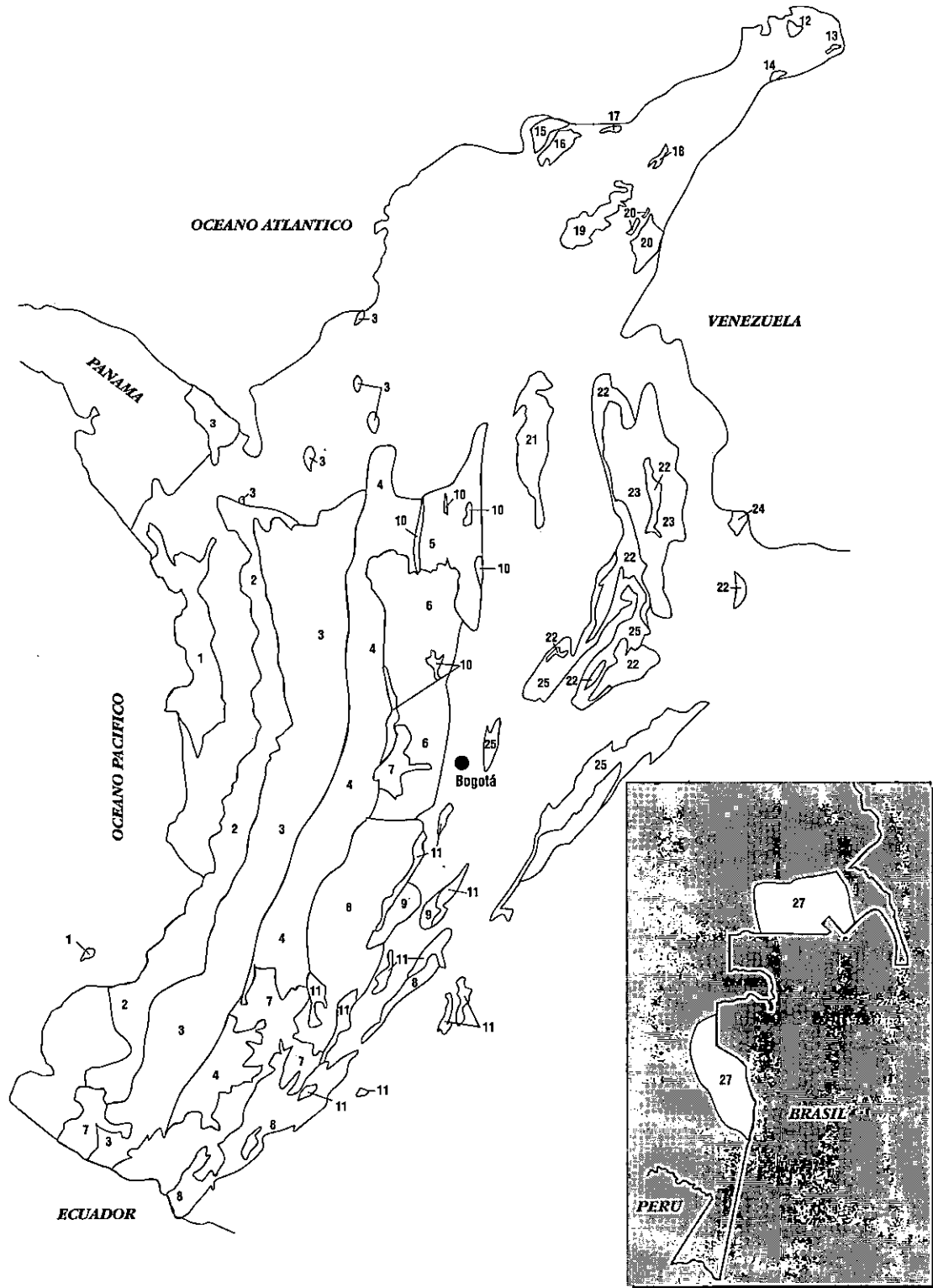
Estos depósitos se encuentran asociados con rocas calcáreas en las cuales los metales preciosos se presentan diseminados en forma fina, conformando cuerpos irregulares dentro o adyacentes a zonas de falla. En Colombia se consideran favorables para este tipo de yacimientos los dominios 8 y 9 (Figura 6). Hasta el momento sólo se conocen algunas indicaciones en los alrededores de Payandé en el Departamento del Tolima (Figura 7), dentro de calizas de edad triásica.

Pórfidos Auríferos

Este modelo, recientemente propuesto, consiste en mineralizaciones de tipo diseminado asociadas con cuerpos intrusivos hipoabisales. Este tipo de depósito en Colombia está relacionado con rocas ígneas hipoabisales de edad terciaria que intruyen rocas más antiguas de diferente composición. Actualmente se conocen las manifesta-

DOMINIOS MINERALES EN COLOMBIA

Figura 6



ciones de Cajamarca y El Salitre en el Tolima, la mina El Retiro en el Valle y Marmato en Caldas (Figura 7). Las áreas favorables para este tipo de yacimiento, de acuerdo con el ambiente geológico, son los dominios 3, 4, 5, 6, 21 y 23 (Figura 6). Las mineralizaciones conocidas hasta el momento presentan reservas de varios millones de toneladas y tenores de oro entre 0,5 y 2 g/t.

Skarn Auríferos

En Colombia, estos depósitos presentan un alto potencial en los dominios 8 y 9 (Figura 6). Se conocen las minas El Sapo, Mina Vieja y la manifestación El Salitre en el Departamento del Tolima (Figura 7). En estos depósitos los metales preciosos están asociados con sulfuros de metales base, magnetita, pirrotina, molibdenita, arsenopirita y pirita, además de minerales de tungsteno. Las reservas en este tipo de depósito pueden estar cerca del millón de toneladas, con tenores que alcanzan los 6 g/t.

Depósitos de Tipo Brecha

Las áreas favorables para estos tipos de yacimientos se presentan en los dominios 3, 4 y 6 (Figura 6). Básicamente se han distinguido dos tipos de brechas mineralizadas: las brechas pipes y las brechas tectónicas, de las cuales se conocen la mina San Antonio y Los Andes en el Tolima y la mina Miraflores en Risaralda (Figura 7). En el caso de las brechas pipes usualmente son rocas volcánicas o cuerpos intrusivos que han sido brechados y simultáneamente mineralizados; este tipo de yacimiento usualmente es de forma elíptica, columnar, presenta sulfuros de cobre, plomo y zinc con oro libre dentro de una matriz de

cuarzo cementante. Las brechas tectónicas (mina San Antonio), al parecer están relacionadas con el emplazamiento de cuerpos hipoabisales de edad terciaria a lo largo de zonas de fallas que afectan usualmente rocas metamórficas y rocas volcánicas; los metales preciosos se encuentran diseminados en grandes volúmenes de roca brechada, junto con pirita y en menor proporción sulfuros de cobre, plomo y zinc. Estos depósitos generalmente presentan reservas entre 2 y 5 millones de toneladas o más, con tenores de oro entre 2 y 6 g/t.

Pórfidos Cupríferos con Oro

Este yacimiento se presenta en las cordilleras Occidental y parte de la Central, dentro de los dominios 3, 4 y 8 (Figura 6). Los prospectos más representativos de este tipo de mineralización son Murindó en Antioquia y Acandí en el Chocó (Figura 7). Estos depósitos están relacionados con cuerpos intrusivos tipo stock generalmente del Paleogeno, que intruyen secuencias ofiolíticas y rocas volcánicas más antiguas. El prospecto de Murindó es quizás el de mayor importancia, con reservas inferidas, del orden de 350 millones de toneladas, con tenores de oro entre 0,5 y 2,5 g/t.

Sulfuros Masivos Tipo Chipre

En Colombia los terrenos geológicos de afinidad oceánica ubicados al W del Sistema de fallas de Romeral, presentan las mejores posibilidades para ubicar sulfuros masivos de este tipo, destacándose los dominios 1, 3 y 4 (Figura 6). Estos depósitos están asociados con basaltos almohadillados y además del cobre presentan cantidades significativas de metales precio-

sos. Actualmente se conoce la mina El Roble en Antioquia, la cual es representativa de este tipo de yacimiento (Figura 7), con reservas medidas de un millón de toneladas, con 3,8% de cobre y 1,5 g de oro por tonelada.

Paleoplaceres

Con este nombre se hace referencia a depósitos de placer auríferos antiguos, que se han preservado a lo largo del tiempo geológico. La mayoría de estos depósitos han sido afectados por tectonismos, metamorfismo y ocurren en metasedimentos del Precámbrico y del Paleozóico. Las áreas favorables en Colombia son los dominios 26 y 27, (Figura 6) donde se conocen metaconglomerados con oro en Naquén y Caranacoa en Guainía y Taraira en Vaupés (Figura 7). Se considera que estos depósitos son de características similares a los Witwatersrand en Suráfrica y Jacobina en el Brasil. Hasta el momento se conocen algunos niveles metaconglomeráticos con tenores de oro entre 0,5 y 1 g/t.

TIPOS DE MINERÍA

La actividad minera de oro en Colombia se adelanta en cuatro escalas, cuyas características principales son:

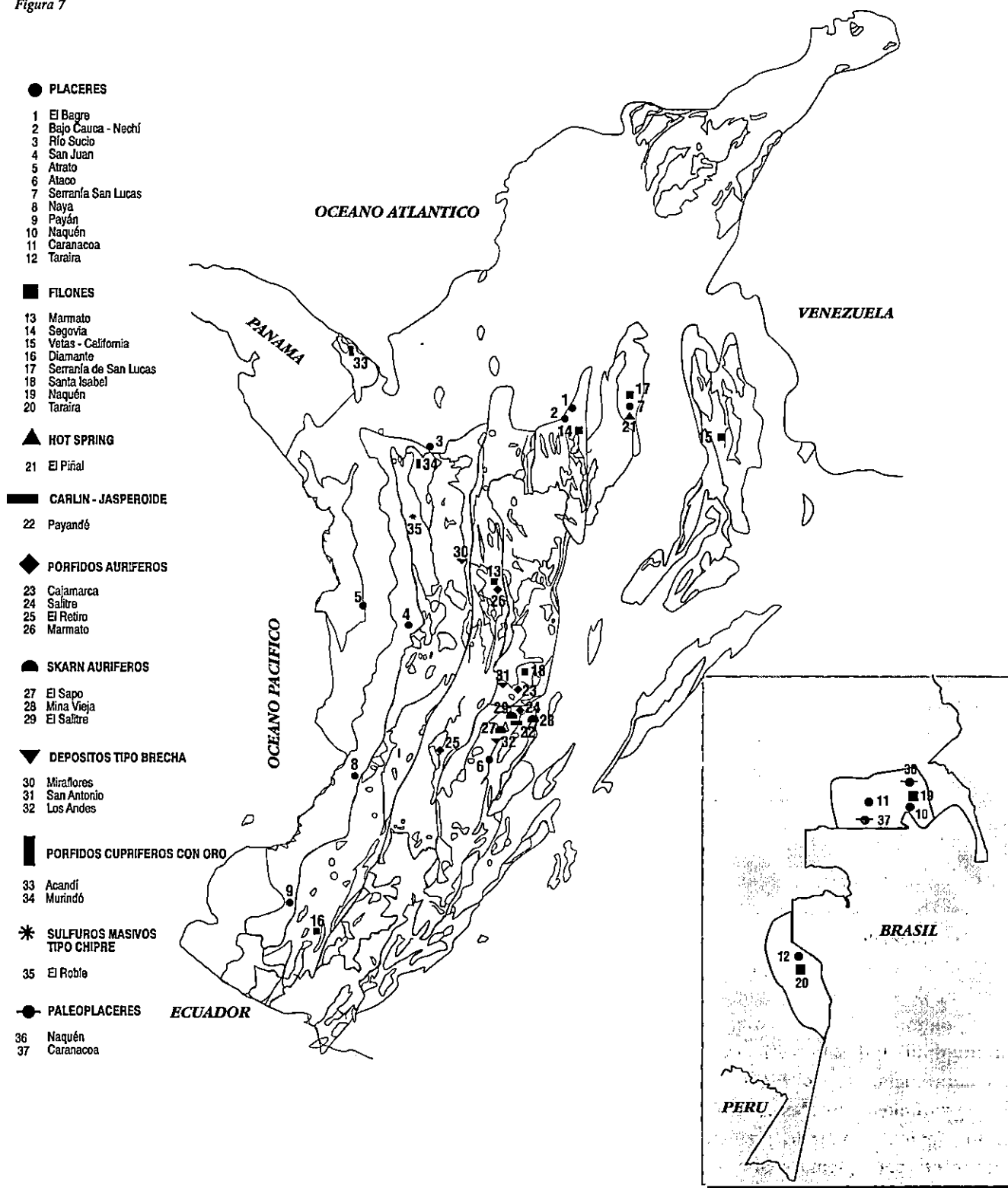
Minería de Subsistencia

Esta modalidad de trabajo se aplica exclusivamente a la explotación de aluviones. Es una actividad manual, en la cual se utiliza la batea, el almocafre y herramientas similares.

El barequeo se adelanta en forma individual y sólo en casos excepcionales se asocian en grupos de máximo cuatro personas. En las regiones costeras del Pacífico es mayor el número de

TIPOS DE MINERALIZACIONES AURIFERAS EN COLOMBIA

Figura 7



mujeres que hombres dedicados a extraer el oro en esta forma. Esta es una actividad a nivel de subsistencia que se alterna con otros quehaceres como la pesca y la agricultura.

Su rendimiento promedio está entre 0,5 y 1,0 gramo de oro por día, laborando entre 18 y 20 días al mes. Su inversión es muy baja y es por ésto, que quienes se dedican a esta actividad la justifican como medio de subsistencia a pesar de su baja producción.

Pequeña Minería

La pequeña minería de aluvión genera un gran porcentaje de la producción nacional de oro. En cuanto al equipo utilizado, es común la aplicación de bombas de baja presión, accionadas por motores a gasolina con potencias promedias de 16 HP, canalones de madera con una longitud máxima de 8 m, herramientas manuales y otros accesorios como mangueras y boquillas.

En los últimos años se ha generalizado para la explotación de depósitos aluviales ubicados en los lechos de los ríos, la utilización de draguetas, que consisten en un conjunto compuesto por una motobomba con motor hasta de 16 HP conectado a una manguera de succión de 6 a 8" y un canalón de 3 m con rifles metálicos. Las explotaciones se adelantan por grupos compuestos por 6-10 mineros y estos tienen como ocupación exclusiva la minería; en pocos casos se dedican a actividades distintas.

La producción, para los casos ordinarios, puede variar entre 200 y 2.000 gramos de oro al mes y los costos son

del orden de 0,2 a 0,4 gramos de oro por metro cúbico de material tratado.

La pequeña minería de filón constituye el 95% de la minería filoniana del país, en cuanto a número de explotaciones se refiere. Esta modalidad emplea equipos, casi todos de fabricación nacional. Para el arranque del mineral se utilizan, en la mayoría de los casos, taladros y martillos manuales, sin embargo, cada vez crece más el número de mineros que utilizan herramientas accionadas con aire proveniente de compresores portátiles. En el transporte interno de mineral se utilizan coches de tracción humana o carretillas de mano; en muchos casos el transporte externo se hace por cables aéreos. En la trituración primaria es común la utilización de pequeñas trituradoras de quijadas; para la molienda se cuenta con molinos que van desde pisones tipo antioqueño o californiano, hasta los molinos de bolas. También, se utilizan barriles amalgamadores.

Los procesos de beneficio extraen el oro libre por concentración en mesas Wilfley, separándolo finalmente con batea o por amalgamación en barriles. El proceso final se hace cianurando por percolación y eventualmente por agitación.

Estas unidades productivas utilizan entre 10 y 30 obreros. En algunos casos se cuenta con un técnico minero y ocasionalmente se recibe la asesoría de profesionales del sector. En la práctica minera se considera como pequeña minería de filón una mina que procese hasta 30 toneladas de mineral al día. En estas condiciones la produc-

ción unitaria por mina oscila entre 300 y 3.000 gramos de oro al mes y sus costos de producción estimados son del orden de 3,5 a 10,0 gramos de oro por tonelada de mineral procesado.

Mediana Minería

La mediana minería de aluvión se caracteriza por la introducción al proceso de explotación de maquinaria pesada.

La mediana minería de aluvión hace obligatoria la ejecución previa de obras de infraestructura tales como apertura de vías, construcción de depósitos de agua y tendido de redes de conducción eléctrica. En algunos casos, se necesita la construcción de campamentos con oficinas, talleres y viviendas. Por otra parte, se deben adelantar obras de desarrollo minero como descapotes y preparación de los bloques de explotación. Todo esto conlleva unos requerimientos de inversión previa, de gran consideración.

Los equipos más utilizados son: bulldozer, retroexcavadoras, cargadores y vehículos de transporte de carga con capacidad hasta de 25 toneladas.

El proceso de beneficio, lavado y preconcentración del material aluvial, utiliza canalones metálicos hasta de 60 m de longitud y la recuperación del metal se ejecuta por amalgamación con mercurio. Debido al uso intensivo de maquinaria, el número de personas utilizadas es reducido a 30 o 35 empleados. En la mayoría de los casos es indispensable que la

planeación y ejecución de las labores se realicen bajo la dirección de profesionales, aunque su utilización es esporádica y en este caso se recurre a los servicios de un ingeniero de minas o un ingeniero civil con experiencia en movimiento de tierras.

La variación en la escala de producción es amplia, entre 1.000 y 1.500 m³/día de mineral removido. Los costos de operación se estiman entre 70 y 100 mg de oro por metro cúbico.

Actualmente hay unas 40 unidades productivas de este tipo en el Chocó, unas 8 en Antioquia, una en el Cauca, 3 en el Tolima y otras tantas en Nariño, Caldas, Córdoba y Sur de Bolívar.

Son pocas las unidades productivas dedicadas a explotar depósitos filonianos que se puedan catalogar como mediana minería de producción.

El equipo instalado es el mismo que el reseñado para la pequeña minería sólo que la capacidad es mayor. Otra diferencia estriba en la utilización indispensable de molinos de bolas y del proceso de cianuración por agitación. En este caso también se hace necesario realizar inversiones, a veces cuantiosas, para la financiación de obras de infraestructura y de labores previas de desarrollo y preparación minera.

La utilización de mano de obra es de gran importancia, empleando entre 30 y 300 obreros; en la mayoría de los casos se cuenta con personal especializado (topógrafos, laboratoristas y capataces). La escala de procesamiento de mineral es amplia, variando entre 30 y 600 toneladas/día. Los costos de

producción en el caso extremo pueden llegar a 4,5 gramos de oro por tonelada de mineral molido. En esta escala de producción se encuentran las minas de la Frontino Gold Mines en Segovia, El Limón y La Bramadora en Antioquia; La Bodega y Reina de Oro en Santander y la Zona Baja de Marmato explotada por Mineros Nacionales.

Gran Minería

La única explotación aurífera que se puede catalogar en el rango de gran minería, es la que adelanta Mineros de Antioquia en los depósitos aluviales de los ríos Nechí y Tigüí.

Esta modalidad de minería exige una intensa utilización de equipo especializado. En el caso que se analiza se utilizan 5 dragas de cucharas, cuya capacidad total de dragado es de 75.000 m³ diarios, hasta una profundidad de 25 m bajo el nivel del río. Las dragas actúan como equipo de extracción del material y además tienen integrado sus propios equipos de beneficio; para este último proceso se utilizan canalones y jigs y el oro se recupera por amalgamación con mercurio. Sus costos de operación se estiman entre 60 y 80 mg de oro por metro cúbico de material removido.

Mineros de Antioquia mantiene un volumen de reservas suficientes para una operación de 10 años. La empresa cuenta con cinco taladros de perforación, una planta de personal de 650 trabajadores en promedio, de los cuales un 15% corresponde a personal administrativo y técnico.

Regiones Mineras. Los depósitos aríferos que se explotan en Colombia

se pueden agrupar en zonas geográficas en las cuales las mineralizaciones, aparte de tener un origen geológico similar, están ubicadas en sitios relativamente cercanos entre sí.

Se considera que es importante no solamente agrupar los depósitos atendiendo las relaciones metalogenéticas sino también incluir criterios mineros y económicos que permitan una regionalización del país, esencial para el diseño de políticas de fomento minero.

De acuerdo con este concepto es posible agrupar los depósitos auríferos en zonas o regiones mineras (Figura 8), cada una de estas regiones está comprendida dentro de una zona geográfica definida, con mineralizaciones en parte genéticamente relacionadas y en las cuales se adelantan explotaciones mediante técnicas y sistemas mineros similares para las distintas escalas de producción.

Dentro de los Distritos se incluyen en forma resumida, las principales características de algunos proyectos mineros en ejecución o próximos a ejecutarse, que cuentan con reservas medidas de mineral aurífero.

Bajo Cauca - Nechí-Córdoba. La región conocida en el Departamento de Antioquia como Bajo Cauca-Nechí es una de las más importantes productoras de oro en el país y comprende los municipios de El Bagre, Nechí, Zaragoza, Cáceres, Caucasia, Tarazá y Valdivia. Se incluye además en esta región las explotaciones aluviales de Ayapel y Puerto Libertador en Córdoba (Figura 8).

La mayoría de los depósitos en esta región son de tipo aluvial y dentro de éstos hay desde aluviones altos de edad Neógena hasta depositaciones recientes de edad Holoceno.

La región Bajo Cauca-Nechí se caracteriza por explotaciones auríferas a todas las escalas de producción; la minería artesanal en Caucasia, Valdivia, Cáceres, Tarazá, Zaragoza y El Bagre labora en los aluviones más altos. Los aluviones de piedemonte y las terrazas bajas se explotan con la ayuda de motobombas de baja presión y canalones de madera. Los aluviones de mayor extensión como las terrazas bajas de Nechí, Cáceres, Caucasia y Tarazá, se explotan utilizando maquinaria pesada, tales como retroexcavadoras, bulldózer, bombas de alta presión y canalones metálicos. Finalmente los aluviones de canal en el Río Nechí se explotan a gran escala mediante dragas de cucharones.

Las principales explotaciones en esta región son:

- Las de Mineros de Antioquia que explotan a gran escala los aluviones del Río Nechí y su afluente el Río Tigüí.
- Las de mediana escala que explotan los aluviones de los ríos Cauca y Nechí. Las minas más conocidas se identifican con los nombres de Colonos, Cuturú, Barajas, Tenerife, Malvinas y Las Flores.

La producción aurífera de esta región, en 1991 fue del orden de 346 mil onzas troy lo que representó un 31% de la producción nacional para ese año.

Proyecto el Bagre.

Titular: Mineros de Antioquia S.A.

Localización: El Bagre-Antioquia (Figura 9).

Aspectos Geológicos: el yacimiento corresponde a depósitos aluviales de canales antiguos, con espesores hasta de 35 m, en los ríos Nechí, Porce, Tigüí y Mata.

Escala de Producción: en 1992 se procesaron 12,33 millones de metros cúbicos con un tenor promedio recuperado de 114 mg de oro por metro cúbico para una producción de 1.412 Kg de oro. Actualmente sólo se trabajan los aluviones de los ríos Tigüí y Nechí.

Reservas: las reservas probadas actuales son de 24,6 toneladas de oro fino. Con un tenor de 124 mg/m³; esto representa un volumen de 198,4 millones de m³.

Fuente: Mineros de Antioquia S.A. 1994.

Segovia-Remedios En esta región se agrupan una serie de depósitos principalmente filonianos y algunos de aluvión localizados en el Nordeste Antioqueño, municipios de Segovia, Remedios, Amalfi, Cisneros, Porce, Yolombó, Yalí, Anorí, Maceo, Caracolí y Vegachí (Figura 8).

Los depósitos filonianos con oro y plata, están relacionados con intrusiones de plutones graníticos tales como los batolitos de Antioquia y Segovia (Dominios 5 y 6, Figura 6). Con excepción de las explotaciones a mediana escala que adelanta la Frontino Gold Mines en Segovia y Remedios, dos explotaciones en Anorí, y la de Oronorte en Zaragoza, los demás trabajos se desarrollan a pequeña escala.

Las explotaciones más importantes de esta región corresponden a las que ejecuta la Frontino Gold Mines en las minas El Silencio y Providencia. Otras minas filonianas de importancia son El Limón (explotada por la empresa GREENSTONE), La Palmichala, La Bartola, San José, El Violín y La Trinidad. La mina La Bramadora aunque tradicionalmente se asocia al municipio de Anorí, por estar cerca a su centro urbano, está ubicada en jurisdicción del municipio de Guadalupe. En minería de aluvión son notables las explotaciones reconocidas como La Viborita y San Andrés. En la década de los años 80 sobresalió la Empresa Antioqueña de Minas explotando los aluviones del río Porce y del río Mata.

Los municipios agrupados en esta región reportaron una producción de 165 mil onzas troy, para el período 1990-1991, lo que representó el 14,7% de la producción nacional total para ese año.

Proyecto el Silencio y Providencia.

Titular: Frontino Gold Mines Ltda.

Localización: Segovia-Antioquia (Figura 9).

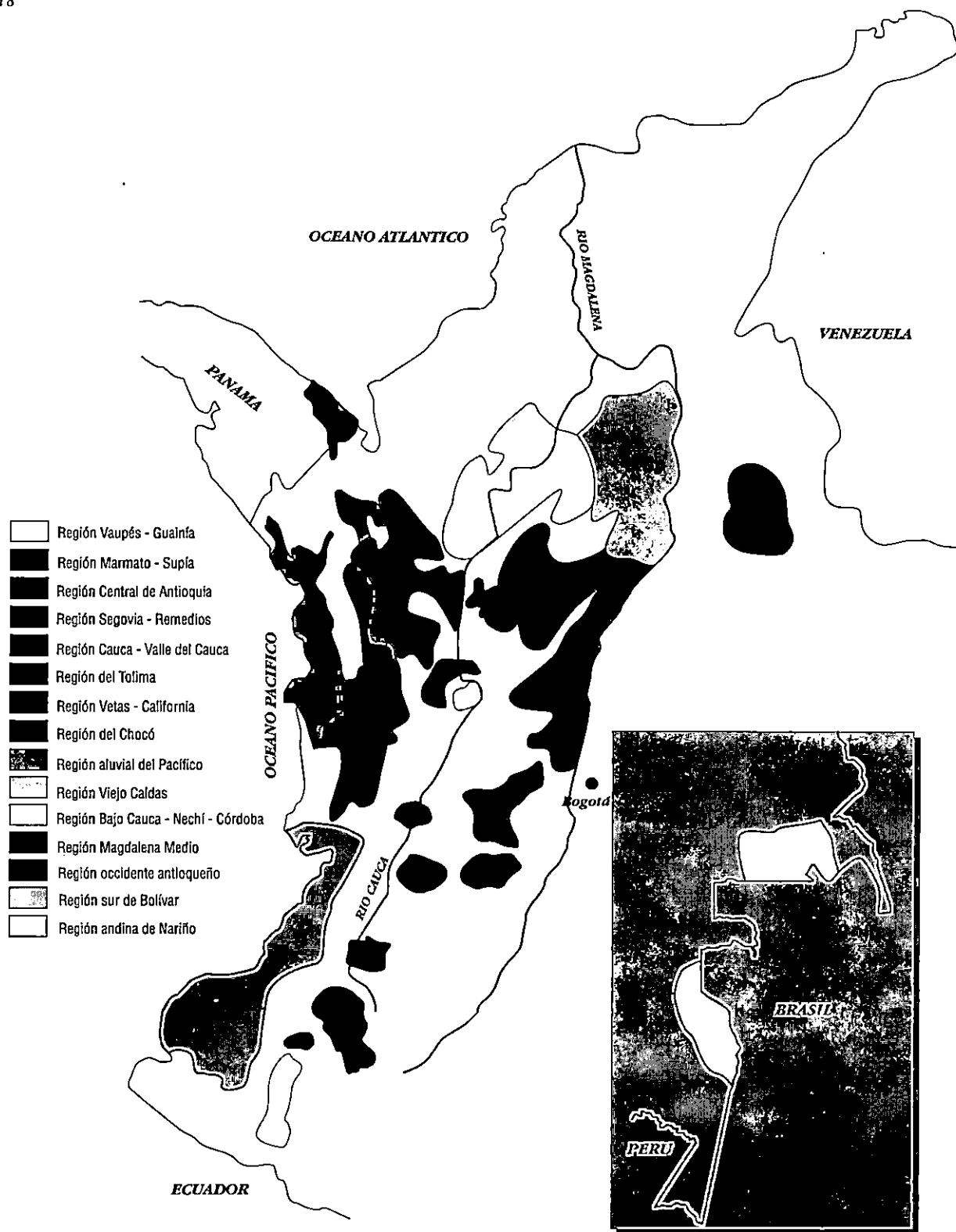
Aspectos Geológicos: la mineralización consiste en una serie de filones emplazados en un cuerpo intrusivo de composición diorítica.

Escala de Producción: la capacidad instalada de la planta es de 600 t/día; la producción actual es de 550 t/día.

Producción Anual: 1.500 kg oro.

REGIONES AURIFERAS EN COLOMBIA

Figura 8



Adicionalmente se producen concentrados de plomo que además contienen 1,5 gramos de oro/tonelada y 2 gramos de plata/tonelada.

Mina El Silencio: 450.000 toneladas con un tenor diluido de 3,2 g/t de Au.

Mina Providencia: 205.000 toneladas con un tenor diluido de 5,0 g/t de Au. Fuente: Frontino Gold Mines Ltda., 1994.

Proyecto el Limón.

Titular: GREENSTONE Ltda.

Localización: Zaragoza-Antioquia. (Figura 9)

Aspectos Geológicos: el yacimiento consiste de un filón de 0,4 m de espesor emplazado en rocas ígneas de composición granodiorítica.

Producción: la planta para producción de concentrados de oro-plata por flotación, presenta una capacidad de 100 t/día.

Reservas: 424.000 toneladas medidas con un tenor de 11.2 gramos de oro por tonelada. Fuente: GREENSTONE Ltda., 1994.

Central de Antioquia. Los depósitos auríferos del centro del Departamento de Antioquia están ubicados al Oriente del Río Cauca en los municipios de Angostura, Alejandría, Belmira, Briceño, Gómez Plata, Guadalupe, San Carlos, San Rafael, San Roque y Santa Rosa (Figura 8).

Los yacimientos de esta región son de tipo filoniano hidrotermal y en su mayoría se presentan asociados al

Batolito Antioqueño (Dominios 4 y 6, Figura 6).

Todas las explotaciones se adelantan a pequeña escala. Aquí debe mencionarse además, la intensa explotación de pequeños depósitos aluviales que se adelanta en los valles altos de los ríos Porce, Nus y Nare, utilizando draguetas y motobombas de baja capacidad.

La producción de oro en esta región fue de 19.700 onzas troy en 1991, esto correspondió al 1,8% de la producción nacional para ese año.

Magdalena Medio. Se incluyen en esta región depósitos aluviales localizados en los municipios de Sonsón, Puerto Nare, Puerto Berrío, Puerto Triunfo y San Luis en el Departamento de Antioquia; los municipios de La Dorada, Samaná y San Miguel en el Departamento de Caldas y los municipios de Fresno, Mariquita, Honda y Libano en el Departamento del Tolima (Figura 8).

Un buen número de aluviones en la región son del tipo de terrazas altas y bajas, vecinas a los ríos Nare, Nus y La Miel; ya más próximos al Río Magdalena hay aluviones de inundaciones de edad Holoceno (Dominio 6, Figura 6).

Durante los últimos ocho años adquirió alguna importancia la explotación mecanizada en los aluviones de mayor extensión principalmente en Puerto Triunfo. Es importante en esta región la producción proveniente de explotaciones con draguetas de succión.

Esta región produjo 30.500 onzas troy durante el año 1991, lo que representó el 2,7% del total de la producción nacional para ese año.

Occidental de Antioquia. Se incluyen en esta región los depósitos tanto filonianos como de aluvión localizados al occidente del Río Cauca. Los municipios de mayor actividad aurífera son Andes, Santafé de Antioquia, Buriticá, Cañasgordas, Frontino, Abriaquí, Dabeiba, Mutatá, Santafé y Urrao (Figura 8).

Las mineralizaciones filonianas están asociadas a cuerpos intrusivos del Terciario tales como Morro Pelao, Morro Gacho, Páramo de Frontino, El Plateado y Farallones de Citará (Dominios 2 y 4, Figura 6). Las explotaciones son a pequeña escala y entre las unidades productivas más importantes se pueden mencionar El Cerro, Morro Gacho, Piedras y Media Cuesta.

Los depósitos aluviales están localizados en Dabeiba y Mutatá en los valles de los ríos Sucio, Uraudó, Tasidó, Uramá y Mutatá.

La producción de oro en 1991 fue de 9.100 onzas troy, es decir el 0,8% de la producción nacional para ese año.

Prospecto Río Sucio

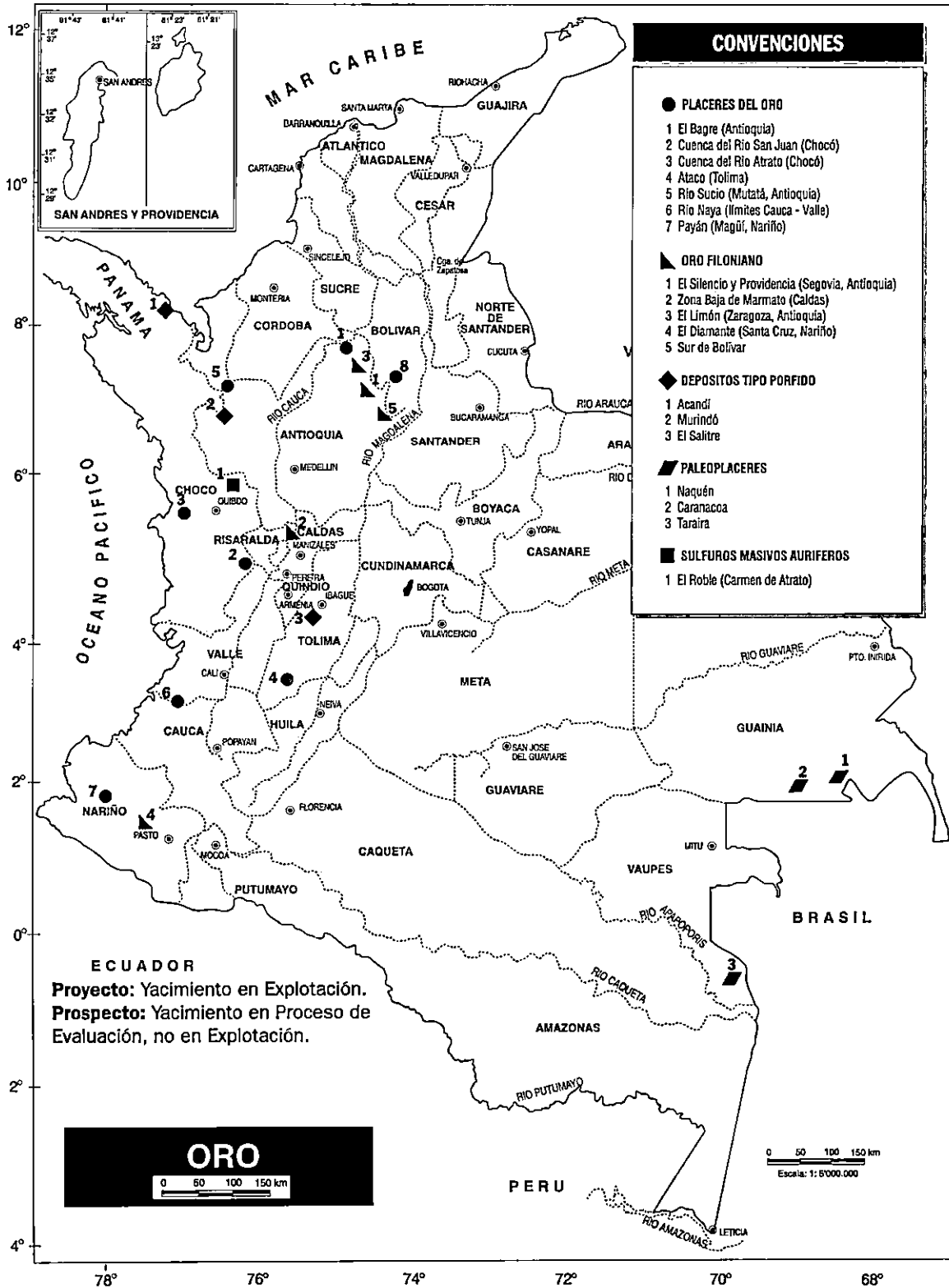
Titular: MINERALCO S.A.

Localización: Río Uraudó, Municipio de Mutatá-Departamento de Antioquia (Figura 9).

Aspectos Geológicos: el yacimiento consiste en depósitos aluviales constituidos por 3 niveles de terrazas, ubi-

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA ORO

Figura 9



cadadas en cercanías al Río Uraudó afluente del Río Sucio.

Producción: este proyecto no ha podido iniciar su verdadera explotación por problemas de orden público pero se viene trabajando a nivel de pequeña minería utilizando retroexcavadoras.

Reservas: el programa de exploración adelantado por INGEOMINAS-UNDP (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) definió unas reservas medidas así: 864.300 m³ con un tenor promedio de 693 mg/m³ de oro y 690.900 m³ con una ley promedio de 787 mg/m³ de oro.

Sur de Bolívar. La región abarca los depósitos filonianos y unos pocos aluviales que en los últimos 10 años han sido objeto de una intensa explotación en el Sur del Departamento de Bolívar. (Dominios 10 y 21. (Figura 2). Esto ha ocasionado que esta zona sea actualmente la región líder en cuanto a producción de oro con 8-9 toneladas/año. Los depósitos referidos se sitúan en los municipios de Río Viejo, Barranco de Loba, San Martín de Loba, Achí, Pinillos, San Pablo y Santa Rosa del Sur. (Figura 8).

Los depósitos auríferos están asociados a eventos magmáticos y se conocen mineralizaciones del tipo cuarzo-adularia y sulfato ácido localizados en los alrededores de los cuellos volcánicos y en las zonas de contacto entre stocks graníticos y vulcanitas.

En 1991, alcanzó una producción de 252.000 onzas troy, lo que representó el 22,5 % de la producción total nacional para ese año.

Marmato-Supía. Se encuentran depósitos auríferos de filón y aluvión localizados en los municipios de Marmato, Supía, Arauca y Ríosucio en el Departamento de Caldas y Quinchía en el Departamento de Risaralda (Figura 8).

Los depósitos filonianos son del tipo oro y plata epitermal asociados a cuerpos intrusivos hipoabisales terciarios. Entre las explotaciones más importantes de esta clase de depósitos están las que adelanta Mineros Nacionales en la Zona Baja de Marmato y la explotación a pequeña escala de la Zona Alta por cuenta de la comunidad minera de Marmato (Dominio 3, Figura 6).

Las explotaciones aluviales son pequeñas y se adelantan en los ríos Supía, Cauca y Arauca.

Esta región viene aportando el 14% de la producción total nacional, representada en 16.000 onzas troy de oro anuales.

Proyecto Zona Baja de Marmato

Titular: Mineros Nacionales.

Localización: Marmato (Zona Baja) Caldas. (Figura 9).

Aspectos Geológicos: la mineralización consiste en un yacimiento compuesto por 8 filones con rumbo N 50-70 W, y espesores que varían entre uno y dos metros, emplazados en pórfidos andesíticos y dacíticos.

Escala de Producción: el proyecto inició su explotación en el año de 1993. Durante 1995 se tiene previsto beneficiar entre 150 y 200 toneladas de mineral por día.

Reservas Medidas: 100.000 toneladas, con tenor sin dilución de 7,8 g/t de oro.

Reservas Inferidas: 650.000 toneladas con tenor que oscila entre 7,62 y 13,37 gramos por tonelada de oro.

Fuente: Phelps Dodge Corporation 1985 y Mineros Nacionales 1993.

Viejo Caldas. Agrupa los depósitos filonianos que se explotan a pequeña escala en los municipios de Manizales, Pensilvania, La Victoria y Villa María en el Departamento de Caldas y las explotaciones ubicadas en los municipios de Quimbaya, Salento y Montenegro en el Departamento de Quindío. También, se incluyen las explotaciones filonianas del Municipio de Mistrató en el Departamento de Risaralda (Figura 8).

Los filones son de origen hidrotermal y las principales explotaciones se reconocen como La Cascada, Farallones, Coqueta, La Morena, en Manizales y Puerto de Oro, en Mistrató (Dominio 4, Figura 6).

La producción de oro en 1991 fue de 3.400 onzas troy, lo que representó el 0,3% de la producción total nacional para ese año.

Chocó. En el Departamento del Chocó se encuentran importantes depósitos de placer de tipo aluvial. Además se conocen hacia la región montañosa oriental (Carmen de Atrato) manifestaciones de oro asociadas a depósitos vulcano-sedimentarios tipo sulfuro masivo (Dominios 1,2,3, Figura 6). La actividad minera aluvial está concentrada en los municipios

prios de Condoto, Quibdó, Andagoya, Acandí, Bagadó, Tadó, Novita e Istmina.

Después de la terminación del trabajo con dragas en Condoto y Andagoya, se ha venido desarrollando una considerable explotación mediante la utilización de maquinaria pesada, que se extiende hasta Istmina y Tadó.

Durante 1991 la producción de oro en el Chocó alcanzó 9.500 onzas troy de oro, lo que representó el 8,9% de la producción total del país en ese año.

Proyecto Cuenca del Río San Juan

Titular: MINERALCO S.A. (Antiguos Derechos de Metales Preciosos del Chocó).

Localización: los depósitos están ubicados en la Cuenca del Río San Juan, principalmente en zonas de jurisdicción de los municipios de Novita, Istmina y Condoto (Figura 9).

Aspectos Geológicos: los depósitos consisten en aluviones de canales profundos posiblemente pleistocenos en las cuencas de los ríos San Juan, Condoto, Cajón, Tamaná y Sipí. La profundidad de los canales puede alcanzar hasta 20 m.

Producción Mediana Minería: en la actualidad operan sesenta retroexcavadoras, las cuales explotan los terrenos altos de los aluviones, arrojando una producción de 1,8 toneladas de oro-platino/año.

Reservas: en las áreas de los ríos San Juan-Tamaná, sectores de Chambo Caliente y Guiní, se contabilizaron 30 millones de metros cúbicos con un

tenor medio de 95 mg/m³ de oro-platino.

Prospecto Cuenca del Río Atrato

Titular: MINERALCO S.A.

Localización: los depósitos aluviales se hallan ubicados en varias localidades de la cuenca.

Aspectos Geológicos: consisten en sedimentos cuaternarios posiblemente pleistocenos dentro de la cuenca del Río Atrato.

Reservas: las reservas medidas están calculadas en 8 millones de m³ con un contenido promedio de 120 mg/m³ de oro.

Fuente: Metales Preciosos del Chocó, 1991.

Proyecto El Roble

Titular: EREESA S.A.

Localización: Municipio del Carmen, Departamento del Chocó (Figura 9).

Aspectos Geológicos: Se trata de un sulfuro masivo tipo Chipre cuyo producto principal son los concentrados de cobre. Sin embargo debido a los altos contenidos de oro (2-3 gr/ton), se considera un proyecto interesante para metales preciosos.

Producción: en 1991 se procesaron 96.000 toneladas de mineral para un promedio de 300 t/día. De este mineral se obtuvieron 14.000 toneladas de concentrado con un contenido de 23% de cobre y tenores entre 5 y 8 gramos de oro por tonelada.

Reservas: hasta finales de 1991, las reservas medidas de mineral fueron calculadas en un millón de toneladas

con tenores promedio de 3,8% de cobre y 1,5 gramos de oro por tonelada.

Prospecto Murindó

Titular: Ministerio de Minas y Energía.

Localización: Municipio de Murindó, Departamento de Antioquía (Figura 9).

Aspectos Geológicos: la mineralización de tipo pórfido cuprífero con oro, se encuentra asociada a rocas ígneas de composición cuarzodiorítica que intruyen rocas máficas, dioritas y gabros. Estudios geoquímicos de suelos, rocas y sedimentos activos indican la existencia de 5 zonas anómalas para cobre, molibdeno, zinc y oro.

Reservas y tenores: actualmente se presenta como uno de los prospectos de tipo pórfido cuprífero con oro, con mayor potencial en Colombia. Con base en los estudios geológicos y geoquímicos adelantados hasta el momento se podría hablar de reservas inferidas del orden de 350 millones de toneladas. Muestras geoquímicas de suelos y rocas indican contenidos de cobre entre 300 y 20.000 ppm y, para oro, entre 0,2 y 2,5 ppm. Fuente: Ingeominas 1977.

Prospecto Acandí

Titular: Ministerio de Minas y Energía.

Localización: Municipio de Acandí, Departamento del Chocó (Figura 9).

Aspectos geológicos: la mineralización de tipo pórfido cuprífero es principalmente hipogénica, asociada a eventos intrusivos que van desde el Cretáceo tardío hasta el Cenozoico, los cuales se hallan emplazados en

una secuencia de rocas vulcano-sedimentarias que conforman el denominado Arco de Islas de Panamá de edad cretácica.

Tenores: Los sulfuros de cobre y molibdeno se hallan restringidos a rocas de composición cuarzodiorítica y a su facies leucocrática. Con un contenido que no excede el 2% del volumen total y se halla en forma de venas, venillas y diseminadas. La relación Py/Cp es de 10:1.

El Mo está normalmente al centro de venillas de cuarzo, rellenando cavidades y en rodados meteorizados.

Existen explotaciones de oro aluvial en las quebradas Viento Libre y Muerto, afluentes del Río Acandí cuyo origen aparentemente está relacionado al magmatismo del pórfido cuprífero.

Cauca y Valle del Cauca. Presenta depósitos de filón en los municipios de Buenos Aires, Suárez, Balboa, La Vega, El Tambo y Almaguer en el Departamento del Cauca; en los municipios de Ginebra, El Dovio y Buga en el Departamento del Valle del Cauca (Figura 8).

La explotación en general se adelanta a pequeña escala; se pueden mencionar como minas de mayor importancia las identificadas con los nombres de Pasobobo, Maraveles, La Concepción, La Berna, La Calixta, San Expedito, El Retiro, Cueva Loca y La Victoria (Dominio 3 y 4, Figura 6).

El producto de esta minería, casi artesanal, en 1991 fue de 2.600 onzas

troy de oro que correspondió al 0,2% de la producción nacional de ese año.

Prospecto Ginebra

Titular: Ministerio de Minas y Energía. El distrito cubre 6 concesiones para un área total de 27.750 hectáreas y una licencia de exploración (No. 17491) de 605 hectáreas para Gran Colombia Resources A.V.V.

Localización: el prospecto está situado sobre el flanco occidental de la Cordillera Central, entre 1.100 y 2.700 m.s.n.m. Adyacente a la cabecera municipal de Ginebra al NE y a 55 km. de Cali, capital del Departamento del Valle del Cauca.

Aspectos geológicos: la geología regional está dominada por un intrusivo de composición cuarzo-diorítica de edad Cretácica, el cual intruyó el Complejo Ofiolítico de Ginebra que consiste de grabos, ultramáficos, basaltos y pilow lavas del Cretáceo Inferior. Todas las unidades se presentan elongadas a lo largo del Sistema de Fallas Cauca-Romeral. Esta intrusión produjo mineralizaciones de oro y plata en forma de filones ondulados, situados tanto en la roca de caja como en la roca encajante.

Minería: la actividad minera es relativamente reciente. Las minas más conocidas son El Retiro y Cueva Loca las que han sido explotadas desde 1940, con una serie de pits poco profundos con capacidad de remoción de 7 toneladas por día. Otras 10 más recientemente desarrolladas, presentan operaciones subterráneas con un tasa de 10 tpd. La minería de placer es muy esporádica. Vale la pena men-

cionar algunas otras minas de interés tales como: Mina Vieja, la Victoria, la Magdalena y la Emilia.

Mineralización: la mineralización de oro tanto libre como asociado con pirita, está localizado en venas de cuarzo y zonas de estovercas (stockworks). Estas últimas están estructuralmente controladas o cerca al contacto cuarzo-diorita-gabro mostrando zonas de alteración filica y argilílica fuertemente piritizadas.

Tenores: la mina El Retiro se explota a cielo abierto sobre una extensión de 0,5 Km². Los tenores varían entre 1,5 y 2,5 g/t de oro. En algunos filones de cuarzo se reportan leyes de 6 a 12 g de oro/t.

Prospecto Río Naya

Titular: Universidad del Cauca.

Localización: aluviones recientes en la cuenca del Río Naya (Figura 9).

Producción: no existen datos sobre la producción minera del área, pero se conoce la existencia de explotaciones auríferas a nivel de subsistencia.

Reservas: existen trabajos exploratorios pero los datos sobre tenores y reservas tienen carácter confidencial.

Aluviones del Pacífico. Comprende una amplia zona aluvial localizada en los municipios de Barbacoas, Magüí (Payán), Salahonda, El Charco, Roberto Payán (San José), Mosquera e Iscuandé en el Departamento de Nariño; Guapí, Timbiquí y López de Micay en el Departamento del Cauca y Buenaventura y Dagua en el Departamento del Valle del Cauca (Dominio 2. Figura 6).

La mayoría de las explotaciones se realizan a pequeña escala, sólo en pocos casos se utiliza maquinaria pesada consistente en retroexcavadoras y buldózer; PRODEMINAS S.A. en 1991, utilizó para sus trabajos una planta lavadora móvil en el área de Barbacoas. Se produjeron 60.500 onzas troy de oro durante el año 1991, lo que constituyó el 5,4% del producto total nacional para ese año.

Andina de Nariño. Los depósitos auríferos de esta zona son todos del tipo filoniano y están localizados en los municipios de Piedrancha (Mallama), Guachavés (Santacruz), Samaniego, Ancuyá, La Llanada, Sotomayor (Los Andes), Policarpa y Cumbitara. (Dominios 3 y 7. Figura 6)

Las explotaciones actuales son pequeñas; hay cerca de 50 explotaciones entre las cuales se destacan La Perla, La Esperanza, Nueva Esparta, El Canadá, La Palmera, El Tábano, La Casualidad, Villa Rica y el Diamante. En esta última mina aunque la explotación actual es pequeña, se están realizando actividades para un proyecto futuro de mediana minería.

La producción en 1991 fue de 16.200 onzas troy de oro, cifra que correspondió al 1,5% del total nacional en ese año.

Proyecto El Diamante

Titular: Gonzalo Torres Prado.

Localización: Vereda El Diamante, Municipio de Santacruz-Guachavés, Departamento de Nariño (Figura 9).

Aspectos Geológicos: el yacimiento está constituido por 3 filones empla-

zados en rocas volcánicas (diábasas) e intrusivas (granodioritas). Los espesores varían entre 0,7 y 4,5 m. El filón principal ha sido reconocido sobre una longitud de 800 m.

Producción: la mina se encuentra actualmente en proceso de desarrollo.

Reservas: de los trabajos realizados por INGEOMINAS-JICA, se concluye que este depósito cuenta con 45.000 toneladas de mineral con un contenido promedio de 7,0 gramos de oro y 110 gramos de plata por tonelada.

Proyecto Payán

Titular: Compañía Minera Colombia y Texas S.A. Inc.

Localización: inmediaciones de Payán en el Municipio de Magüí, Departamento de Nariño (Figura 9).

Aspectos Geológicos: el yacimiento consiste en depósitos aluviales tipo terraza, cuyo espesor llega hasta 20 m, los cuales reposan sobre una serie de sedimentos limoarenosos.

Producción: el titular tiene suspendido este proyecto y no ha comenzado la producción.

Reservas: mediante perforaciones, apiques y trincheras, la compañía titular determinó la existencia de 10'520.000 m³ con un tenor promedio de 388 mg/m³.

Fuente: Compañía Minera Colombiana y Texas, 1987.

Tolima. Los depósitos filonianos de esta región corresponden a los municipios de Ibaqué, Armero-Guayabal,

Santa Isabel y Mariquita. En cuanto a depósitos aluviales son importantes los del Río Saldaña explotados en el área de Ataco (Dominios 6, 7 y 8. Figura 6).

Toda la actividad minera actual está desarrollada a pequeña escala, aunque localmente se han introducido algunas retroexcavadoras. Existe en Ataco, una área de gran importancia, evaluada por Mineros El Dorado, pero hasta la fecha no se han iniciado trabajos de explotación.

Durante el año 1991 la región produjo 8.600 onzas troy de oro, lo que constituyó el 0,7% del total de la producción nacional para ese año.

Proyecto Ataco

Titular: Mineros El Dorado S.A.

Localización: depósito aluvial en la cuenca del Río Saldaña, en los municipios de Ataco y Chaparral, Departamento del Tolima. (Figura 9)

Aspectos Geológicos: en la parte central del sinclinal de Ataco, reposando sobre sedimentos terciarios y cretácicos, el río depositó material aluvial constituido por gravas y arenas poco cementadas. Espesor promedio 19 m.

Producción: este proyecto no ha podido entrar en operación debido al rechazo de algunos sectores económicos regionales que fundamentan su oposición con argumentos de tipo ambiental.

Reservas: las reservas medidas mediante perforaciones, son del orden de 51,5 millones de metros cúbicos con un contenido promedio de oro de 163 mg/m³.

Vetas-California. Esta región del Departamento de Santander comprende depósitos filonianos en el Municipio de California (Dominio 23. Figura 6).

Las explotaciones adelantadas en el área son pequeñas, donde se destacan La Bodega, San Celestino, La Angostura, Reina de Oro, La Tosca, Trompeteros y San Bartolo.

Durante el año 1991 la región produjo 8.600 onzas troy de oro, equivalentes al 0,7% del total de la producción nacional para ese año.

Vaupés y Guainía. Los departamentos localizados en la zona más oriental de Colombia (Vaupés, y Guainía), han iniciado sus explotaciones auríferas a pequeña escala, en algunos depósitos de tipo filoniano y de placer, relacionados con metaarenitas ferruginosas y metaconglomerados precámbricos que afloran en las serranías de Naquén, Caranacoa y Taraira. (Dominio 27. Figura 6).

La producción es incipiente, pero las características geológicas y mineralógicas conocidas, permiten fundamentar halagadoras perspectivas para el futuro.

Se reportó en 1991, una producción de 7.100 onzas troy de oro, proveniente de la región un 0,6% de la producción total nacional en ese año.

ASPECTOS AMBIENTALES

Los principales problemas de la minería del oro se relacionan con la situación de ilegalidad de las explo-

taciones y el inadecuado manejo ambiental de las mismas. El precario manejo ambiental se observa en el aporte de material sólido a ríos y quebradas, aumento de las tasas de deforestación y pérdida de la cobertura vegetal, producto del desigual nivel tecnológico de las explotaciones.

Según el Departamento Nacional de Planeación (1991), las labores de pequeña y mediana minería son las que causan un mayor deterioro de las características ambientales del país, sin embargo la promulgación del Código de Minas (Decreto 2655/1988), Código de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente (Decreto 2811/1974). Constitución Política (1991) y Ley 99 de 1993 (Ley ambiental), constituyen el fundamento legal y socioeconómico para lograr el desarrollo sostenible de la actividad minera.

Los Ministerios de Minas y Energía y del Medio Ambiente, son los entes rectores de la gestión minero-ambiental, cuentan con el apoyo técnico y logístico de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y Secretarías Departamentales de Fomento Minero.

En el último año, los empresarios mineros han tomado mayor conciencia sobre el control del impacto ambiental, modernizando sus procesos y mejorando el planeamiento y diseño minero. Igualmente los organismos gubernamentales, en especial el recién creado Ministerio del Medio Ambiente, han iniciado un proceso de concertación y definición de la normatividad, que permita claridad para los explotadores y comunidades.

Características del Mercado

Colombia es el décimo primer país productor de oro en el mundo y el tercero después de Brasil y Chile a nivel latinoamericano.

Durante el período 1942-1972 se observa una drástica disminución ocasionada por el hecho de haber permanecido fijo el precio del oro en US\$35 la onza, mientras los costos de producción sufren un constante aumento. La producción bajó de 596.000 onzas en 1952 a 186.000 onzas en 1972.

A partir de 1972 y hasta 1978 se observa una recuperación de la producción fundamentalmente debida a la liberación total del mercado mundial del oro. Simultáneamente se favoreció la producción por la devaluación permanente del peso a partir de 1967. En 1975 se alcanzó la producción pico del período, llegándose a las 311.000 onzas troy.

La producción de oro, que había estado fluctuando a lo largo de tres décadas, tuvo una notable expansión después de 1970. Desde 1967 el Banco de la República compra la producción de oro, y es la única entidad autorizada para ello, por lo que el precio ofrecido por esa entidad es el principal determinante de la producción. A principio de los años 70 ese precio se ajustó con los considerables aumentos que empezó a tener el precio internacional, lo que permitió reactivar minas de alto costo o marginales.

En el período 1978-1983 se presenta un rápido ascenso en respuesta al

alza en el precio internacional que en 1980 alcanzó un máximo de US\$ 810 la onza troy. La respuesta del precio se refleja en la producción de 1981 que llegó a 516.000 onzas troy.

A partir de 1982 hubo una salida ilegal del metal ocasionada en el diferencial cambiario del dólar negro que alcanzó a valer un 14% más que el dólar oficial; para frenar esta situación el Gobierno tomó la determinación de aumentar el precio del oro nacional por encima del internacional pagando un sobreprecio que fluctuó entre el 7 y el 30%.

Estas medidas fueron la causa para que se operara el fenómeno contrario, esto es la entrada al país de grandes cantidades de oro cuyo monto real no fue posible establecer. A partir de marzo del 84 los registros de compras se crecieron, pero a todas luces no reflejaban la verdadera producción nacional.

El acentuado crecimiento del precio internacional del oro, entre 1979-1981, se reflejó en la duplicación de los niveles de producción colombiana de ese metal precioso en 1980.

Posteriormente, mediante Resolución No. 6 de febrero 29 de 1984, se adicionó el precio del oro con un subsidio equivalente al 30%, orientado a estimular la producción, evitar el contrabando de exportación y para recuperar, por estos medios, el acentuado descenso de las reservas internacionales.

En 1984-1985, el nivel anual de producción volvió a duplicarse, debido a

la aplicación del subsidio, que estuvo adicionado con la fuerte devaluación del peso en 1985. El incremento de los precios del café mejoró la situación cambiaria y a finales de 1985 la Junta Monetaria disminuyó a 15% el subsidio al precio del oro.

En 1986, la producción de oro alcanzó los mayores niveles como consecuencia del incremento en los precios internacionales, presentándose sin embargo en los tres años siguientes niveles inferiores y estabilizarse alrededor de las 950.000 onzas troy año. De otro lado, además del retiro del sobreprecio y la estabilización de la devaluación, la producción se ha visto afectada por problemas de orden público.

A raíz de la disminución parcial del sobreprecio al oro (se estableció en 3%), en 1987 la producción sufrió una gran caída, de 1,28 millones a 853.000 onzas troy. Sin embargo, esta última cifra, sí representa la verdadera producción nacional. Esta reacción está indicando que el sobreprecio instituido en los años anteriores, sirvió de estímulo a la producción puesto que se reabrieron antiguas explotaciones, se crearon nuevas y la producción subió de un promedio de 500.000 onzas troy en el período 81-83 a 900.000 onzas troy para el período 87-91; destacándose la producción del último año que se puede considerar como la más alta del presente siglo en Colombia.

Durante el período 1985-1992 las producciones anuales de oro en Colombia fluctuaron entre 1,0 y 1,4 millones de onzas troy (30-35 to-

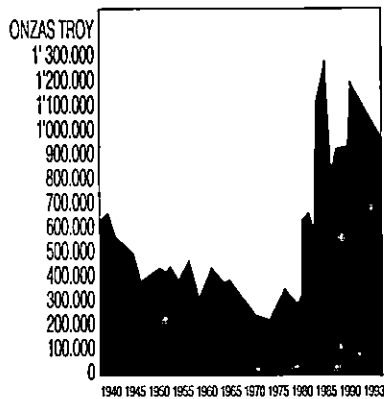
neladas). En 1992, la producción de este metal llegó a 1.032.601 onzas troy (para un valor de US\$414,0 millones), volumen que es inferior en 7,8% al registrado en 1991. Sin embargo, durante 1993 hubo un ligero decrecimiento de la producción, pues sólo se alcanzó a 961.746,1 onzas troy (27,26 toneladas). Básicamente esta situación es la respuesta a una disminución real en los niveles de precios, con lo cual algunas minas marginales han dejado de producir.

El 94% de la producción total de metales preciosos proviene de la pequeña y mediana minería con un promedio de recuperación de sólo el 50%. El 90% corresponde a depósitos de aluvión y el 10% a depósitos de filón. La producción se concentró hasta el año 1992 en el occidente del país y particularmente en los departamentos de Antioquia, Chocó y Nariño. Tradicionalmente, el Departamento de Antioquia fue el principal productor, con 70% del total de la producción nacional. A partir de 1993 el Departamento de Bolívar lidera la producción nacional, ver la tabla 7. Durante 1994 el Departamento de Bolívar alcanzó la máxima producción (34,02% del total) con 327.172,25 onzas troy, le sigue el Departamento de Antioquia con una oferta de 297.622,60 onzas troy, lo que constituye el 30,94%. En este mismo año la producción del Departamento de Córdoba superó ampliamente a los departamentos de Chocó y Nariño (Tabla 7).

La figura 10 muestra la producción nacional de oro en los últimos cincuenta y tres años. Como puede verse

**PRODUCCION DE ORO EN COLOMBIA
1940 - 1993**

Figura 10



se han presentado períodos de incremento y disminución muy marcados. Las razones de estos cambios se analizan en el Plan Nacional de Desarrollo Minero, 1984, realizado por el Consorcio IEC - INTEGRAL.

DEMANDA

El país presenta dos tipos de consumo de oro: Uno compuesto por la demanda manufacturera e industrial y otro por la demanda cambiaria.

El Decreto 444 de 1967, vigente hasta enero de 1991, establecía que sólo el

Banco de la República podía realizar en el país las ventas de oro para usos industriales (Tabla 8).

El Banco llevaba un estricto control de la utilización del oro vendido, mediante el otorgamiento de licencias previamente autorizadas por la Superintendencia de Control de Cambios.

Esta situación venía originando una serie de inconvenientes y demoras que llevaron a la gran mayoría de pequeños joyeros, que constituyen un

**Tabla 7
PRODUCCION DE ORO POR DEPARTAMENTOS
(Onzas Troy)**

DEPARTAMENTO	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Amazonas	742.3	6,248.5	2,475.4	368.2	141.8	83.5	211.2
Antioquia	633,408.7	650,030.6	627,600.2	588,225.3	541,307.3	426,459.1	271,271.6
Arauca			0.1			35.2	
Bolívar	22,062.9	27,171.6	27,257.4	102,174.6	248,079.4	296,214.9	298,213.0
Boyacá		5.3		0.8		16.3	
Caldas	34,908.5	35,299.3	29,047.9	28,983.0	28,374.6	64,135.4	56,789.9
Caquetá		7.1	6.0	115.5	54.7	33.5	19.9
Cauca	12,827.7	15,907.3	18,557.2	18,222.4	19,469.5	18,210.1	12,028.7
Cesar	2.1	8.1	0.6	1.7			
Chocó	72,790.3	90,342.3	98,549.8	99,416.8	98,665.0	81,702.4	67,110.7
Córdoba	7,174.4	18,395.0	17,536.2	18,809.7	71,404.8	60,083.3	73,666.7
Cundinamarca		34.1	0.7	29.9	128.4	520.4	136.9
Guainía		1,983.4	2,824.6	3,555.4	3,684.9	3,877.3	7,661.2
Guajira	65.6	236.4	798.7	1,101.1	367.4	130.8	95.3
Guaviare	1,425.1		1.3	1.1	0.5		
Huila	1,249.3	1,184.5	999.5	698.0	77.0	488.1	772.1
Magdalena	187.3	169.2	13,616.1	3,684.2	255.7	258.4	139.9
Meta	0.9	39.8	16.2	26.1	112.8	76.5	39.5
Nariño	19,816.6	22,667.8	29,107.2	32,291.2	44,647.1	36,289.5	54,056.5
Putumayo	2,735.1	3,787.3	2,600.3	3,265.6	6,229.6	2,995.2	1,321.4
Quindío	136.4	500.7	1,161.5	2,158.0	2,654.2	1,370.1	474.0
Risaralda	127.6	2,418.4	2,645.5	3,293.1	2,882.0	3,278.0	4,780.5
Santander	17,852.0	9,602.2	7,867.2	7,197.9	9,556.1	2,513.7	4,537.3
Sucre	2,515.6	16,414.2	30,753.3	53.6	223.3	215.5	185.3
Tolima	5,302.9	5,545.8	9,658.1	8,664.2	12,282.9	10,599.2	10,786.2
Valle del Cauca	17,774.1	18,931.5	17,844.4	16,289.1	22,276.7	20,757.5	15,589.1
Vaupés	363.5	6,078.9	7,702.1	5,071.5	3,506.2	2,256.8	840.9
Vichada							0.4
TOTAL (ONZAS TROY)	853,468.9	933,009.3	948,627.5	943,698.0	1.116,381.9	1.032,600.6	880,738.1
VARIACION %	(33.28)	9.32	1.67	(0.52)	18.30	(7.50)	(14.71)

Fuente: Banco de la República, Metales Preciosos. 1994

80% del total de empresas manufactureras, a acudir al mercado negro para abastecerse, a pesar de tener que asumir los riesgos que conlleva este procedimiento, como son el de una deficiente calidad del producto y un mayor factor de inseguridad en el manipuleo. El control de la producción directa como el del comercio de oro manufacturado es difícil de ejercer especialmente a nivel regional o de pequeñas empresas artesanales. Se estima que, en cuanto al oro utilizado en joyería la relación entre compras legales e ilegales fue de 3:10 (Banco de la República, 1991).

La ley 09 de 1991 autorizó el libre comercio del metal en el mercado nacional; este hecho vino a legalizar la situación que se venía presentando por parte de los industriales del oro cuyas compras clandestinas fueron del orden del 70% de sus necesidades.

Tradicionalmente la demanda de oro para usos industriales es muy baja en comparación con la producción nacional. En la tabla 8 se puede ver que el porcentaje ha variado en los últimos 10 años entre el 0,4 y el 0,7%. De acuerdo con registros anteriores la demanda de oro industrial en la década del 60 alcanzó registros hasta del 53% de la oferta nacional. La disminución se explica por aumento de la producción nacional; incremento en las compras no oficiales a causa de las

trabas para su consecución en el mercado legal y mayor utilización del reciclaje.

MINERALCO S.A. inició en 1992 una serie de acciones destinadas a incrementar la industrialización del oro, principalmente en el ramo de la joyería. Entre los proyectos que se estructuraron se pueden ya mencionar estas dos realizaciones:

- Minas y Joyas del Oriente S.A. es una empresa cuya sede es la ciudad de Bucaramanga. Tiene como capital suscrito \$204 millones, de los cuales se han pagado \$35 millones. Los objetivos generales de esta empresa son: la fundición, análisis, refinación y producción de joyería no plana. La operación de esta empresa mixta ocasionará una nueva demanda de 0,72 toneladas de oro al año.

- Minas y Metalúrgica Quimbaya S.A., es una empresa mixta que tiene como sede la ciudad de Manizales y cuyos objetivos fundamentales son la fundición, análisis, refinación y producción de joyería plana y cadenería. Esta empresa se encuentra en su etapa de conformación y cuando esté en funcionamiento sus requerimientos de oro serán del orden de 3,5 toneladas por año.

El principal componente de la demanda de oro en el país es el cam-

biario. Restando el pequeño porcentaje de la producción nacional utilizado en los usos industriales, el resto está destinado a formar parte de las reservas internacionales. Ocasionalmente, el Banco utiliza una cantidad pequeña de oro para la acuñación de monedas conmemorativas de cualquier evento especial. La tabla 9 muestra la participación del oro en las reservas internacionales en los últimos diecisiete años.

El precio del oro en las reservas internacionales varía desde US\$ 35,00 la onza troy hasta US\$ 610,00. En 1984, se estima que el valor promedio de la onza troy de oro en las reservas fue de US\$ 313,00. En varias ocasiones, por el pago que el Banco hacía de bonificaciones y sobrepagos, se presentó el caso de que el oro ingresara a las reservas con un valor inferior al pagado al productor. Actualmente, el oro que entra a formar parte de las reservas es evaluado al precio interno que se pagó en el momento de realizar la compra, a la tasa de cambio vigente.

OFERTA

Hasta 1993 el mercado legal del oro, se centró en el Banco de la República. Respecto a la oferta, ésta fue constituida por la producción nacional comprada por el Banco. Actualmente, no se conocen oficialmente otras transacciones de inversión pri-

Tabla 8
VENTAS DE ORO PARA USOS INDUSTRIALES
(Millones de US\$ corrientes)

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Ventas para la Industria	1,58	1,18	1,49	1,62	2,6	2,8	2,9	2,3	3,6	2,3
Producción Nacional	316,10	409,70	463,20	387,30	417,9	371,4	379,9	414,9	355,2	341,4

Tabla 9
RESERVAS INTERNACIONALES
(Millones de US\$ corrientes)

AÑO	RESERVAS BRUTAS	ORO MONETARIO	% PARTICIPACION
1977	1.835,5	73,1	4,0
1978	2.492,5	137,3	5,5
1979	4.112,9	214,5	5,2
1980	5.419,7	525,4	9,7
1981	5.632,9	764,5	13,6
1982	4.892,6	933,1	19,1
1983	3.175,8	1.109,6	35,0
1984	1.721,8	817,0	47,4
1985	1.887,4	408,6	21,6
1986	2.313,1	461,7	19,9
1987	3.484,0	385,7	11,1
1988	3.852,0	415,3	10,8
1989	4.001,0	368,6	9,2
1990	4.595,0	376,9	8,2
1991	6.500,0	412,6	6,3
1992	7.688,0	380,0	4,9
1993	7.832,0	355,0	4,5

Fuente: IEC - INTEGRAL 1984; Banco de la República 1994.

vada o pública que afecten sensiblemente la oferta a nivel nacional.

La demanda consiste en lo que compra el Banco de la República y posteriormente se desagrega en lo que es demanda manufacturera y demanda cambiaria. La situación de demanda y oferta, en las últimas décadas, se muestra en la tabla 10.

La diferencia entre la oferta y la demanda en algunos años es negativa, esto es debido a que en ciertos casos el oro incorporado a las reservas tiene un valor mayor al que tenía cuando fue comprado.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

Durante el último quinquenio ha sido objetivo prioritario del sector minero colombiano el establecer

políticas y mecanismos tendientes a mejorar la producción de oro.

El Estado, consciente de esta situación, se ha empeñado en mejorar sustancialmente la minería aurífera del

país, para lo cual se vienen adelantando las siguientes acciones:

- Mejoramiento de las bases legales, Código de Minas, Decreto 2655, 1988.
- Creación del Fondo de Fomento de Metales Preciosos, mediante Decreto 2657 de 1988.
- Transformación de ECOMINAS en MINERALCO S.A., Ley 02 de 1990, buscando el fortalecimiento de la Empresa para fomentar el desarrollo minero del país, con énfasis en metales preciosos.
- Estatuto de Inversiones Extranjeras, Resolución 049 de 1991, cuyo objetivo básico es la apertura económica del país. Como es bien sabido, la mediana y gran minería requieren una alta dosis de inversión extranjera, la cual se facilita con el nuevo estatuto.

Tabla 10
OFERTA Y DEMANDA DEL ORO EN COLOMBIA
(Millones de US\$ corrientes)

AÑO	OFERTA	DEMANDA	DIFERENCIA ENTRE OFERTA Y DEMANDA
1977	38,9	18,0	20,9
1978	49,8	71,4	21,6
1979	81,6	84,6	3,0
1980	304,7	316,9	12,2
1981	237,5	242,9	5,4
1982	172,6	176,0	3,4
1983	180,9	190,9	9,6
1984	333,2	316,1	17,1
1985	477,8	409,7	68,1
1986	509,9	463,2	46,7
1987	387,1	387,3	0,2
1988	414,2	417,9	3,7
1989	386,0	371,4	14,6
1990	397,3	379,9	17,4
1991	447,7	414,9	32,8

Fuente: Banco de la República 1984 - 1992.

■ Ley 9a. de 1991.

■ Fondo Nacional de Regalías.

De los aspectos tratados en el Decreto 2655 de 1988, las disposiciones que más tienen que ver con la minería de metales preciosos son:

■ Creación de los Fondos de Fomento Mineros y Garantías Mineras.

■ Agilización de los trámites para el otorgamiento de un derecho minero y para la rendición de informes y otras diligencias por parte de los particulares.

■ Reglamentación del funcionamiento de la Sociedad Ordinaria de Minas.

■ Las prerrogativas y beneficios que se establecen en favor de las cooperativas o grupos asociativos.

■ Reglamentación de las Servidumbres Mineras.

■ Creación del Registro Minero.

■ Creación del Comité de Política Minera.

El Fondo de Fomento de Metales Preciosos fue creado por el Decreto No.

2657 de 1988. Este fondo es una cuenta nacional cuya administración le fue encomendada a Ecominas a mediados de 1989.

Con miras a lograr el aprovechamiento óptimo de los recursos, se consideró conveniente llegar a un consenso con las entidades vinculadas al sector y se concretaron las líneas de acción a seguir con el Ministerio de Minas, INGEOMINAS, SENA, Banco de la República y Planeación Nacional. En algunas ocasiones se escucharon las opiniones y sugerencias del sector privado representados en la Asociación Colombiana de Mineros.

La tabla 11 presenta un resumen de la asignación presupuestal y su ejecución en los 3 años que lleva de operación el Fondo de Metales Preciosos. Este estructuró y se encuentra desarrollando cuatro programas generales de trabajo los cuales constan de varios proyectos específicos.

El estado actual de los Programas de trabajo sobre Desarrollo y Evaluación de Distritos Mineros, Crédito, Investigación y Capacitación de Servicios y Exploración se pueden resumir así:

Programa de Desarrollo y Evaluación de Distritos Mineros

Este programa tiene como objetivo el desarrollo integral de una serie de depósitos de mineral aurífero, que por su proximidad geográfica conforman distritos mineros y sobre la mayoría de los cuales se ejecutan explotaciones rudimentarias por parte de comunidades de pequeños mineros. Se han ejecutado o se están desarrollando proyectos distribuidos en todo el territorio nacional.

En cada uno de estos distritos se están desarrollando las siguientes actividades:

■ Topografía: Comprende desde toma de fotografías aéreas a baja altura y restituciones aerofotogramétricas hasta levantamiento en superficie y subsuelo a escala 1:500.

■ Geología: Se ejecuta una cartografía geológica general del distrito y posteriormente la geología detallada de los yacimientos, incluyendo definición de la geometría de los depósitos, muestreos de orientación y sistematización y estimativo de reservas.

■ Diagnóstico de la Situación Actual: En cada unidad productiva dentro

Tabla 11
PRESUPUESTO FONDO DE FOMENTO DE METALES PRECIOSOS
(Millones de \$ corrientes)

AÑO	ASIGNADO	RECIBIDO	%	RECURSOS	OTROS	TOTAL AÑOS ANTERIORES	EJECUCION RECURSOS	%
1990	7440,0	83,0	46,8	—	—	646,0	157,0	24,0
1991	600,0	593,5	90,0	489,0	141,5	—	1.162,0	95,0
1992	775,6	678,2	87,4	—	104,0	1.224,0	165,2	21,0
1993	641,9	291,4	45,4	—	—	782,2	—	—

Fuente: MINERALCO S.A. - 1994.

del distrito se recolecta información referente a los procesos que comprende la actividad minera y se hace un análisis financiero de la actual operación.

- **Exploración Productiva:** Con base en la información geológica y en los resultados del diagnóstico se procede a diseñar una serie de labores subterráneas que van a servir para la comprobación de reservas y además serán utilizadas como accesos o vías de transporte interno de las futuras explotaciones.
- **Plan de Desarrollo Minero:** Finalmente, se procede al diseño de un Plan de Desarrollo Minero Nacional destinado a continuar las explotaciones a una escala mayor de la actual y mejorando los índices de recuperación y productividad. Se hace énfasis en el ordenamiento de los trabajos para reducir al mínimo el deterioro ambiental que se cause con la explotación.
- **Organización Empresarial:** Como complemento indispensable, en cada proyecto se promueve y fomenta la organización y la capacitación de las comunidades mineras en forma de cooperativas, asociaciones o pequeñas empresas mineras, para que en un futuro puedan las comunidades mineras desarrollar adecuadamente las labores de carácter técnico y administrativo.

Programa General de Crédito

En el marco de un programa general de crédito para la minería de metales preciosos se están desarrollando dos

proyectos mediante convenios con la Caja Agraria y Fiducaf .

A mediados de 1990 se suscribió con la Caja de Crédito un contrato mediante el cual, con recursos de la Caja, se otorgan créditos a los pequeños mineros de metales preciosos con un aval otorgado por MINERALCO S.A. para aquellos solicitantes que no puedan ofrecer garantías reales.

El aval está sustentado en un Fondo Nacional de Garantías Mineras creado inicialmente con un aporte de \$50 millones del Fondo de Fomento de Metales Preciosos que mediante un multiplicador de 5, permite respaldar créditos hasta por \$250 millones. Este fondo, de acuerdo con las necesidades, puede ser incrementado con nuevos aportes.

Los créditos de este Convenio son en términos generales menores de cinco millones de pesos y hasta la presente se han aprobado créditos por valor de \$158 millones (Tabla 12).

A finales de 1991 se suscribió un contrato de administración fiduciaria con Fiducaf , subsidiaria del Banco Cafetero, para el manejo de los recursos del Fondo de Fomento de Metales Preciosos destinados a dar crédito. Este programa está destinado a financiar proyectos mineros en ejecución; más concretamente se da crédito para la adquisición de activos, capital de trabajo y programas de ampliación de reservas. De esta forma se trata de subsanar la actual situación a la que se ve abocado el explotador por la carencia de una línea de crédito  gil. El programa acepta como garantías del crédito

entre otras la pignoración del equipo adquirido y la del título minero.

Se han otorgado, o est n en la etapa de aprobación final créditos por un valor total de \$262,6 millones (Tabla 12).

Programa de Investigación, Capacitación y Servicios

Este programa abarca una serie de actividades que ha desarrollado el Fondo de Fomento de Metales Preciosos en beneficio de esta minería y que van desde la financiación de proyectos de investigación científica por parte de universidades y otras entidades del sector, pasando por colaboración en obras de infraestructura en áreas mineras hasta los servicios directos al minero por medio de la financiación de talleres de servicio mecánico. En el desarrollo de los proyectos de este programa se han invertido recursos por un monto total de \$248,2 millones distribuidos así:

- **Terminación de Planta de Beneficio de Minerales para la zona Alta de Marmato, \$20,0 millones.**
- **Taller de Orfebrería-Tarazá (Antioquia), \$ 2,2 millones.**
- **Taller Móvil - Barbacoas (Nariño), \$6,1 millones.**
- **Módulo de Instrucción para Beneficio de Minerales, \$5,0 millones.**
- **Adecuación Regional Minera de Quibdó, \$5,8 millones.**
- **Asistencia Técnica Crédito, \$ 5,6 millones.**

Tabla 12
CREDITOS OTORGADOS POR MINERALCO
(Millones de \$)

CAJA AGRARIA DEPARTAMENTO	FIDUCAFE VALOR MILLONES \$	VALOR MILLONES \$
Antioquia	—	160,6
Chocó	76,7	40,0
Caldas	28,0	—
Nariño	39,5	24,0
Santandes	11,4	—
Risaralda	2,5	—
Bucaramanga	—	18,0
Valle del Cauca	—	20,0
TOTAL	158,1	262,6

Fuente: Mineralco S.A. 1993.

- Obras Sociales - Secretaría de Minas de Antioquia, \$70,5 millones.
- Organización Empresarial Pequeños Mineros de Marmato (Caldas), \$6,0 millones.
- Obra Comunitaria, La Llanada (Nariño), \$17,0 millones.
- Centro de Apoyo Técnico para la Pequeña Minería del Sur de Bolívar, \$90 millones.

Programa de Exploración

MINERALCO S.A. con la colaboración de INGEOMINAS y el INEA adelantó un programa de exploración preliminar del proyecto aurífero del Taraira localizado dentro del Aporte No. 1227.

Las principales actividades desarrolladas fueron:

- Toma de fotografías a escala 1:20.000 y 1:10.000; sobre 94.000 hectáreas.
- Fotointerpretación geológica de las 94.000 hectáreas.

- Reconocimiento geológico regional sobre 3.000 hectáreas.
- Diagnóstico de la actividad de pequeña minería, desarrollada por la Asociación de Mineros del Vaupés (400 mineros).
- Asistencia técnica a la comunidad minera.

En el sur del Departamento de Bolívar (Aporte No. 1237), se adelantó un proyecto de exploración geoquímica en terrenos de los municipios de San Martín de Loba, Morales y Rioviejo.

En la segunda fase del programa de exploración en el área, se adelantó una exploración detallada en tres zonas cuya extensión total no supera las 4.000 hectáreas. Estas áreas fueron seleccionadas después de una primera fase de reconocimiento general del Aporte.

Esta fase de la exploración se financió con recursos del Fondo de Fomento de Metales Preciosos y su ejecución, mediante contrato, le fue encomendada a INGEOMINAS.

La Nueva Constitución Nacional, artículo 361, ordena la creación de un fondo que administre los recursos, que por concepto de regalías están obligados a pagar los explotadores de los recursos no renovables de la Nación, para ésto, el Gobierno Nacional por intermedio del Ministerio de Minas y Energía presentó a consideración del Congreso Nacional, el Proyecto de Ley No. 044 de 1992, que reglamenta la creación, administración y funcionamiento del Fondo Nacional de Regalías. La exposición de motivos resume sus objetivos básicos (Ministerio de Minas 1992).

- "Inducir la inversión productiva de las contraprestaciones obtenidas por el Estado, para que cuando se explota un recurso natural no renovable, el activo que así desaparece sea transformado en otros activos, de tal manera que se mantenga o incremente el acervo de capital del país como un todo".
- "Fortalecer la descentralización y aumentar la inversión regional y municipal".
- Promover un uso más eficiente de los recursos nacionales y regionales y un aumento de la productividad de la inversión pública.

RECOMENDACIONES

La situación actual de la minería del oro en Colombia presenta graves deficiencias de carácter estructural que exigen acciones urgentes tendientes a apoyar y encausar de manera ordenada las distintas activi-

dades que forman parte de ésta industria y de los metales preciosos en general.

Aunque son muchas y de diversa índole, las tareas que se deben adelantar para el desarrollo de esta rama de la minería, se considera que esas acciones se pueden agrupar en cinco recomendaciones generales:

- **Exploración.** Es necesario adelantar programas sistemáticos de exploración en aquellas áreas que presentan ambientes geológicos favorables para ubicar nuevos yacimientos de rendimiento económico.
- **Aumento de las Reservas.** Evaluando los prospectos de Murindó, Guanía-Taraira, Sur de Bolívar, cuenca superior del Río Timbiquí. También, los distritos auríferos de Ataco y los Andes (Tolima), Ginebra (Valle del Cauca) y Guachavez (Nariño), entre otros.
- **Apoyo Técnico.** Con planeamiento minero, diseño minero-ambiental y optimización de los procesos de beneficio, para lograr altas recuperaciones de oro y metales asociados.
- **Apoyo Financiero.** Para la promoción de proyectos de prospección re-

gional, exploración detallada y explotación minera.

- **Fomento de la Industrialización.** Para transformar el oro en productos semielaborados y elaborados (joyería) en procura de un valor agregado.

El primer aspecto es considerado básico para el desarrollo del Sector Minero, así como para el futuro de la producción aurífera; la exploración mineral es una etapa crítica dentro del proceso de suministros de materia prima mineral a la industria. Actualmente, para cualquier país, es de vital importancia conocer el verdadero valor de sus recursos minerales. Las actuales reservas disponibles son bajas; es urgente, por lo tanto, que el sector público como el privado realicen un esfuerzo para que a mediano plazo, se pueda contar con reservas suficientes que garanticen una mayor producción futura.

El apoyo técnico que el Estado le puede dedicar a un programa, como el que se propone en este documento es limitado, los recursos se deben orientar a mejorar y ampliar el conocimiento de las reservas de mineral en los yacimientos que actualmente

son objeto de explotación a pequeña escala, por parte de los particulares, siempre y cuando se comporten como una industria, económica y rentable.

Los proyectos de exploración tienen una inversión inicial alta, lo que hace difícil conseguir recursos suficientes para comprobar reservas de mineral que garanticen el retorno de la inversión. El minero corriente no tiene acceso a los canales ordinarios de financiación estatal o privada y por lo tanto la disponibilidad de capital para conocer la verdadera potencialidad del recurso minerales es mínima.

MINERALCO S.A. a partir de 1991, viene promocionando a través del SENA programas de transformación industrial del oro, en procura de obtener un valor agregado del metal. No puede haber justificación valedera para que de las 30 toneladas promedio de producción aurífera anual del país, sólo el 1% o menos sean transformadas en artículos de joyería con destino a los mercados nacionales y extranjeros. La orfebrería y joyería nacional requiere apoyo y promoción. Además de eso, sería interesante promocionar la integración de éstas, con la talla de las piedras preciosas.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Las quince compañías más grandes productoras de Oro en el Mundo Occidental.
- TABLA 2. Reservas de Oro reportados por el Mundo Occidental.
- TABLA 3. Método de beneficio de minerales auríferos para producción de preconcentrados.
- TABLA 4. Método de beneficio de preconcentrados auríferos a concentrados de Oro comercializados.
- TABLA 5. Usos Industriales del Oro en países desarrollados y en vía de desarrollo.
- TABLA 6. Producción Mundial de Oro.
- TABLA 7. Producción de Oro por departamentos.
- TABLA 8. Venta de Oro para usos Industriales.
- TABLA 9. Reservas Internacionales.
- TABLA 10. Oferta y Demanda del Oro en Colombia.
- TABLA 11. Presupuesto Fondo de Fomento de Metales Preciosos.
- TABLA 12. Créditos otorgados por Mineralco S.A.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Inversión para Exploración Período 1988 - 1992.
- FIGURA 2. Resumen de la Demanda y Oferta del oro en el Mundo Occidental.
- FIGURA 3. Demanda del Oro en el Mundo Occidental.
- FIGURA 4. Producción de Oro en el Mundo Occidental.
- FIGURA 5. Curva del Precio Real del Oro en el Mundo Occidental e Incidencia de los Eventos Político-Económicos Mundiales.
- FIGURA 6. Dominios Minerales en Colombia.
- FIGURA 7. Tipos de Mineralizaciones Auríferas en Colombia.
- FIGURA 8. Regiones Auríferas en Colombia.
- FIGURA 9. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Oro.

BIBLIOGRAFIA

- BANCO DE LA REPUBLICA, 1981. Estadísticas de Producción de Oro a Nivel Mundial. Inf. Interno, Bogotá.
- , 1987. Informe Anual del Gerente a la Junta Directiva, Vol. LXIV, (anexo estadístico). p. 150-188, 1981.
- Estadísticas de Producción de Oro a Nivel Mundial. Inf. Interno, Bogotá.
- BETJYIN, A., 1977. Curso de Mineralogía. Edit. Mir, 739 P, Moscú.
- BUENAVENTURA A.J., 1975. Ocurrencias Minerales en la Región Norte del Departamento del Tolima. INGEOMINAS. Ibagué.
- BUENAVENTURA A.J., 1994. Modelo de Mineralización para los Depósitos Auríferos en Rocas Precámbricas de la Serranía de Naquén-Colombia. INGEOMINAS-U. Nacional.
- BUENAVENTURA A.J. Y CASTRO, H. 1994. Propuesta de Exploración Mineral en Colombia. IX Congreso Nacional de Minería. Desafíos de la Minería Colombiana para el Siglo XXI. Bogotá.
- BUENAVENTURA A.J., MUÑOZ C., RODRIGUEZ C., 1993. Exploración Geológica y Geoquímica para Oro en Morales-El Banco-Aporte 1237, Serranía San Lucas. Mineralco-IN-GEOMINAS.
- CACERES, I. Y RAMIREZ, Y., 1985. Estudio para la formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero. Instituto de Estudios Colombianos, informe interno del Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- CARRILLO, V., 1991. Geología detallada, caracterización y evaluación preliminar del yacimiento aurífero de Miraflores, Quinchía, Departamento de Risaralda. MINERALCO Inf. Interno, Bogotá.
- CARRILLO, V. Y CASTRO, F., 1989. Geología del sector de Cabras, Marmato, Departamento de Caldas. MINERALCO Inf. Interno, Bogotá.
- CASTRO, H. Y FORERO, H., 1987. Prospección Aurífera del Río Timbiquí. Comunidades de Cheté y Coteje, Departamento del Cauca (informe convenio Ingeominas - PRO-GOG), Bogotá.
- ECOMINAS, 1983. Proyecto de Explotación Zona Baja de Marmato. Inf. Interno, Bogotá.
- , 1984. Solicitud de Anticipo Sobre Venta de Mineral de Oro. Inf. Interno, Bogotá.

- , 1984. Geología y Ocurrencias Auríferas de la Comisaría del Guainía. Inf. Interno, Bogotá.
- , 1990. Informe de Comisión Proyecto Aurífero del Taraira - La Pedrera. Inf. Interno, Bogotá.
- , 1990. Manifestaciones de Metales Preciosos en el Area del Proyecto Morales - El Banco en la Región Nororiental de la Serranía de San Lucas, Departamento de Bolívar. Inf. Interno, Bogotá.
- ENGINEERING AND MINING JOURNAL, 1991,1992,1993 y 1995. The International Mining Magazine. Anual Commodities Survey and Outlook. Chicago.
- ESCOBAR, A.J. Y ECHEVERRY, V.A., 1942. Notas Sobre la Minería de Veta y Cianuración. Asociación Colombiana de Mineros, Medellín.
- ETAYO, F., ET AL, 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Pub. Geol. Esp. INGEOMINAS No. 14-1, Bogotá.
- GOLD, 1991. Gold Fields Minerals Services Ltd., London.
- , 1993. Gold Fields Minerals Services Ltd., London.
- ,1994. Gold Fields Minerals Services Ltd., London.
- GALVIS, J., 1991. Manifestaciones de Metales Preciosos en el Area del Proyecto Morales - El Banco en el Sector Nororiental de la Serranía de San Lucas, Departamento de Bolívar. ECOMINAS Inf. Interno, Bogotá.
- GONZALEZ, J., 1991. El Diamante, Plan de Desarrollo, Perfil del Proyecto. MINERALCO S.A. Inf. Interno, Bogotá.
- GUARIN, G., 1971. Ocurrencias Minerales del Departamento de Risaralda. Inf. 1636 INGEOMINAS, Medellín.
- HENSTESCHEL, T. Y PRIESTER, M., 1991. Contaminación por Mercurio en Países en Vía de Desarrollo por Amalgamación de Oro de la Pequeña Minería y Alternativas Técnicas para el Procesamiento. Projeckt-Consult. Kinigstein.
- HOLLISTER, V.E. 1992. On a Proposed Plutonic Porphyry Gold Deposit Model. Nonrenewable Resources. Vol. 1 No. 4. Winter 1992.
- INSTITUTO DE ASUNTOS NUCLEARES - IAN, 1990. Manifestaciones Auríferas en las Serranías de Machado y Gaimpo, Comisaría del Vaupés. Inf. Interno.
- ICONTEC, NORMA 1473, 1977. Odontología. Aleaciones de Oro para Coladas Dentales.
- , Norma 1530, 1986. Materiales Dentales. Aleaciones para Amalgama Dental.
- INGEOMINAS, 1983. Evaluación de los Recursos Minerales no Combustibles de Colombia. Informe del Proyecto Cooperativo INGEOMINAS-USGS. Pub. Geol. Esp., No. 14. Bogotá.
- INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia. Pub. Geol. Esp. No. 1. Segunda Edición, Tomo I. P.3-31, Bogotá.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS COLOMBIANOS - INTEGRAL, 1984. Estudios para la Formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero. INTEGRAL. El Oro (Estudio de Inventario Minero) (PNDM, 1984).
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1984. Estudio Preliminar de Factibilidad del Desarrollo del Area El Diamante - Paraiso - Bomboná, Departamento de Nariño, Convenio INGEOMINAS - JICA, Cali.
- JARAMILLO, L. Y ESCOVAR, R., 1980. Cinturones de Pórfidos en las Cordilleras Colombianas: Metalogénesis en Latinoamérica: Publ. IUSG, No. 5: P.75-90. México D.F.
- LATINOMINERIA, 1993. Minería, Siderurgia, Cartón y Petróleo en América Latina. Vol. 3 No. 7,8, Santiago de Chile.
- LOPEZ, J.H., 1971. Ocurrencias Minerales del Departamento de Caldas Inf. 1602. INGEOMINAS.
- LOZANO, H.,1991. Distrito Aurífero de La Dorada. Tipos de Depósitos, Geología, Sistemas de Explotación. Cálculos de Reservas. INGEOMINAS, Inf. Interno, Bogotá.
- LOZANO, H., Distrito Aurífero de Ginebra. Buga-Ginebra. Departamento del Valle del Cauca. Geología, Tipos de Depósitos, Sistemas de Explotación (en proceso). INGEOMINAS, Bogotá.

-
- LOZANO, H., OVALLE, J.F.M, Mora, L.A., 1991. Minas de Oro de Aluvión de Santa Rosa, Ataco- Chaparral. Departamento del Tolima. Geología, Cálculo de Reservas Evaluación Económica. INGEOMINAS, Inf. Interno, Bogotá.
- LOZANO H. Y PULIDO, O.H., 1986. Situación Actual del Oro y la Plata en Colombia. Vol. 27 No.3 Bol. Geol. INGEOMINAS, Bogotá.
- LOZANO H. Y BUENAVENTURA, A.J., 1989. Areas of Potential New Gold Deposits in Colombia. Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources. Houston, Texas.
- MINERALCO S.A., 1990. Código de Minas y Disposiciones Reglamentarias, Bogotá.
- MINERALCO S.A., 1994. Colombia. Estadísticas del Sector Minero No. 9. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- MINING ANNUAL REVIEW, 1977, 1983, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992 y 1993.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 1989. Análisis de la Producción de Oro y Platino en el País, 1984-1988. Inf. Interno, Bogotá.
- , 1992. Producción de Oro por Departamentos. Inf. Interno.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA-DANE, 1988, Censo Nacional Minero 1988, Resultados Generales. Bogotá.
- PHELPS DODGE CORPORATION, 1985. Marmato Zona Baja, Proyecto de Factibilidad Mineral Inf. Interno.
- PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, 1990. Así cumplimos con el Guainía. Proyecto Minero y Desarrollo Regional.
- PRETORIUS, D.A., 1981. Gold Geld, Gilt: Future Supply and Demand. Econ. Geol., Vol. 76, P.2032- 2041, Bogotá.
- PRORADAM, 1979. Proyecto Redargramétrico del Amazonas y sus Recursos, IGAC, Bogotá.
- ROBERT PANERO ASSOCIATES, 1987. Strategic Review and Analysis of the World Gold Industry p.34, New York.
- RODRIGUEZ, C., 1991. Geología y Ocurrencias Minerales en el Departamento del Vaupés. Serranías de Machado y Garimpo. Aporte 1227. MINERALCO. Inf. Interno, Bogotá.
- RODRIGUEZ, P.A., et al, 1985. Análisis de los Efectos Ocasionados por las Explotaciones Auríferas en la Zona de Zaragoza-El Bagre-Cuturú, Departamento de Antioquia. INGEOMINAS. Inf. Interno, Bogotá.
- RODRIGUEZ, C.J. Y PERNET, A. 1983. Recursos Minerales de Antioquia. Bol. Geol. Vol. 26 No. 3. INGEOMINAS, Bogotá.
- ROSE, A.W., HAWKES, H.E., & WEBB, J.S., 1979. Geochemistry in Mineral Exploration. Academic Press, 658 p., New York.
- SHLEMON, R., 1970. Estudio Geomorfológico de los Aluviones Río Nechí, Antioquia, Inf. Interno para la Pato Consolidated Gold Dredging Co.
- UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO, 1991. Introducción al Estudio de los Yacimientos de Oro (curso de doctorado, 1989-1990). Departamento de Mineralogía y Petrología. Madrid.

PLATA

Humberto González I. ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

La plata nativa es menos abundante en la naturaleza que el cobre. Es un metal de color blanco, brillo metálico, funde a 960°C, dureza entre 2,5 y 3, peso específico entre 10,1 y 11,1; fractura astillosa, no tiene clivaje, es dúctil, maleable y excelente conductor de la electricidad y el calor.

Su símbolo químico es Ag; cristaliza en el sistema cúbico; su estructura cristalina es la de un cubo de caras centradas y los cristales regulares son raros. Número atómico 47; peso atómico 107,87. Los minerales principales son argentita (Ag_2S), polibasita (Ag_9SbS_3), cerargirita ($AgCl$) y plata nativa (Ag). La galena argentífera (PbS) y tetrahedrita argentífera ($Cu_3(Sb, As)S_3$) tienen parte de su red cristalina reemplazada por plata. Según Rose et al (1979), el contenido promedio de plata en rocas ultramáficas es 0,6 ppm, en máficas 0,1 ppm y en graníticas 0,037 ppm.

En las rocas sedimentarias su distribución, en ppm, es la siguiente: calizas 0,1, areniscas 0,25 y shales 0,19.

El oro y la plata es común encontrarlos en aleación natural en la mayoría de los depósitos epitermales. Cuando el contenido de plata es de 20% o más, la aleación oro-plata se conoce con el nombre de electrum.

Según Drake (1982), los principales usos, en orden de importancia, son: material fotográfico, productos eléctricos y electrónicos, aleaciones y equipos de soldadura, joyería, vajillas y cubiertos, como catalizador, en monedas y objetos conmemorativos, odontología y medicina, espejos y otros.

La norma 1530 del ICONTEC establece las especificaciones que deben cumplir las aleaciones esencialmente de plata y estaño

(1) Geólogo, Ingeominas Medellín.

utilizados en la preparación de amalgamas dentales. La aleación puede presentarse en forma de polvo, tabletas o cápsulas que contengan proporciones prepesadas de la aleación y de mercurio.

Estructura de la Industria

La plata se ha extraído como subproductos de depósitos de oro, cobre, plomo y zinc, entre los que se destacan pórfidos cupríferos, venas, filones, sulfuros masivos y reemplazamientos; también se obtiene de algunos placeres.

Tradicionalmente la plata se ha recuperado por copelación y amalgamación. Varios procesos se han utilizado, se destacan los de Agustín, Patio, Patera, (AGETON, 1970), los cuales se escogen según el tipo de minería a desarrollar en el depósito. En los depósitos de plomo-plata ésta se recupera, generalmente, por el proceo de Parker, que consiste en agregar aleación casi insoluble de zinc-plata, fácilmente separable, la que sometida a copelación, libera la plata.

Características del Mercado

La producción de plata, en Colombia, es escasa, tal como se aprecia en la tabla 1 y está relacionada a la producción de oro de filón.

Los datos sobre producción, según el Censo Nacional Minero de 1988, acusan la presencia de errores de observación, debido a que la infor-

Tabla 1
PRODUCCION DE PLATA PERIODO 1985 - 1991
(Millones de \$)

AÑO	ONZAS TROY	AÑO	ONZAS TROY
1985	168.770	1989	220.140
1986	183.814	1990	211.921
1987	170.127	1991	258.385
1988	210.959		

Fuente: DANE, 1992.

mación es difícil de obtener, con buena precisión, particularmente para metales y piedras preciosas. Para el caso de oro de filón como en las minas de Vetas y California en Santander, las de Segovia en Antioquia y las de Marmato en Caldas (Figura 1).

Las figuras 2 y 3 muestran la relación de la producción de oro-plata 1985 y 1991, y la relación producción contra precio.

El Censo Minero de 1988, no tiene datos de la producción de plata porque para el tratamiento estadístico de la información se estableció un grupo de minerales preciosos compuestos por oro, platino y plata calculándose la producción minera mensual del grupo en 28.135 onzas troy.

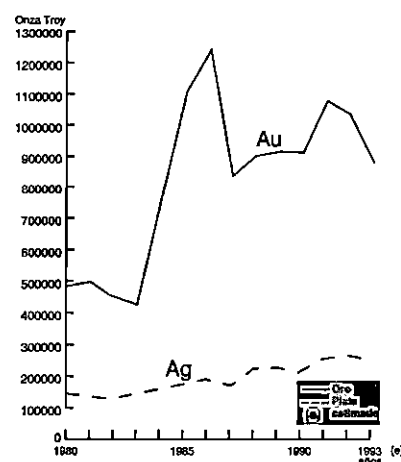
PRINCIPALES EMPRESAS PRODUCTORAS

Debido a la dependencia que tiene la plata del oro no existe en Colombia ninguna compañía que tenga como objetivo principal la producción de plata. Por lo tanto la producción aumentará, proporcionalmente, con la explotación de minas de oro de filón en donde la plata es un subproducto.

La gran inversión que se está realizando en el Lejano Oriente no ha

RELACION ENTRE LA PRODUCCION DE ORO Y PLATA EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 1980 - 1993

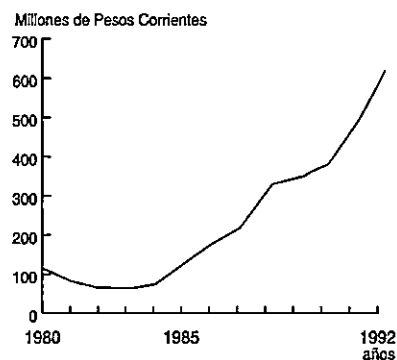
Figura 2



Fuente: Banco de la República, Metales Preciosos/1993.

VALOR DE LA PRODUCCION DE PLATA EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 1980 - 1992

Figura 3



Fuente: Boletín Minero Energético - M.M.E, 1993.

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA PLATA

Figura 1

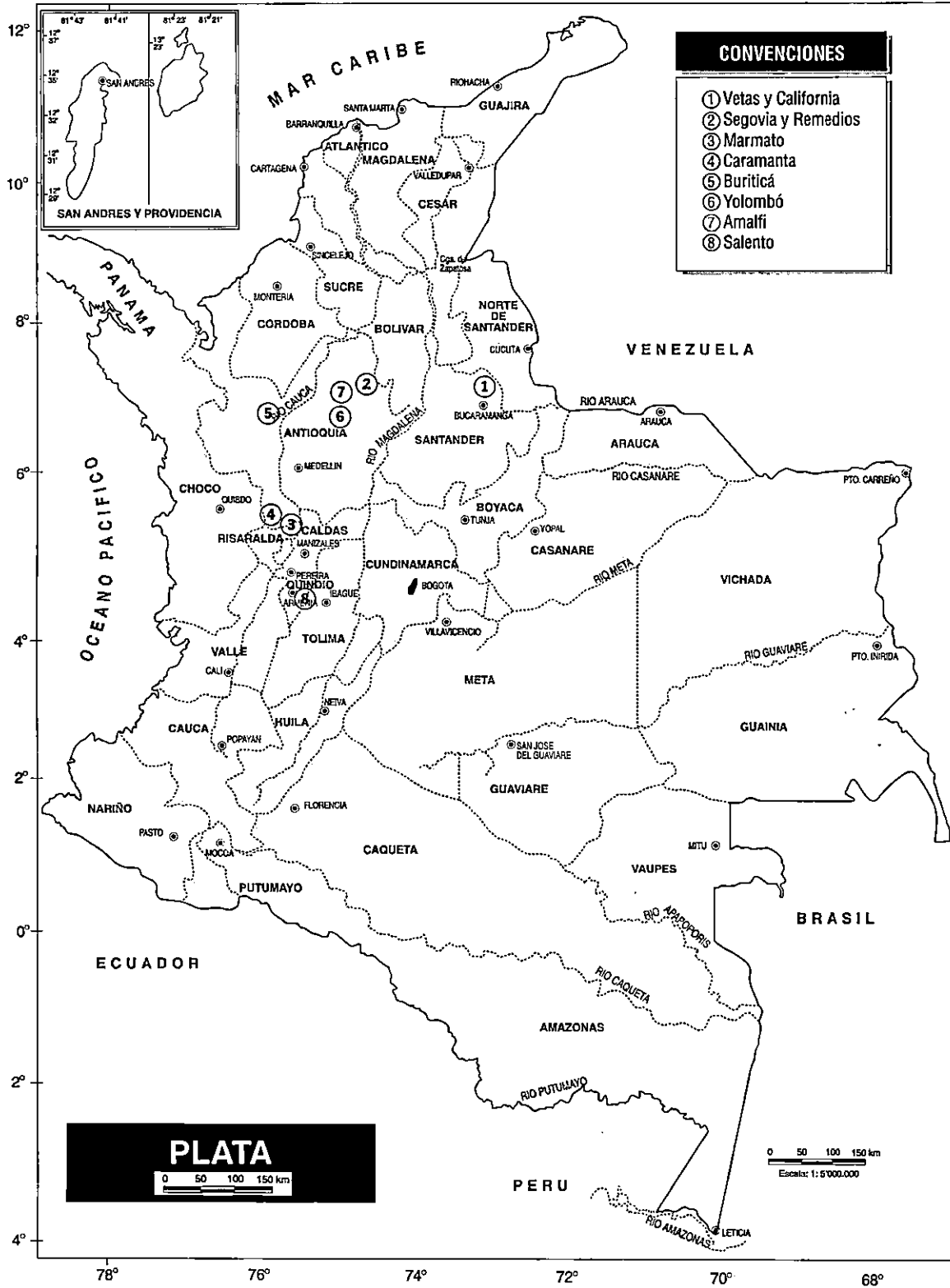


Tabla 2
CONSUMO DE PLATA EN EL MUNDO OCCIDENTAL
 (Millones de Onzas Troy)

USOS INDUSTRIALES	1988	1989	1990	1991
EE.UU.	120	119	125	120
Japón	98	102	108	108
Europa Occidental	105	116	115	113
Otros	100	115	110	112
SUBTOTAL	423	452	458	453
Monedas antiguas	30	34	30	32
TOTAL	453	486	488	485

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1991.

beneficiado a la plata en términos de la balanza de la oferta y la demanda, ya que la mayor inversión en la región ha sido para el platino. Sin embargo, el metal ha jugado un papel importante en la India y Asia; además en Estados Unidos se presenta un elevado consumo de plata (Tabla 2), debido al acuñamiento de monedas, lo que ha fortalecido el mercado de futuros.

Ha existido superávit de plata en el mercado internacional, desde comienzos de los años 80. La diferencia entre los metales radica en que el consumo de plata es esencialmente industrial (76%), mientras el de oro es del 15%. En las tablas 3 y 4 se muestra la producción y la

oferta-demanda en el bloque occidental, en la década de los 80.

La asociación Hunt Brothers realizó grandes esfuerzos en la década del 70 para mejorar el mercado de la plata, sin conseguir un mercado constante, debido a que los industriales tuvieron la tendencia a emplear sustitutos lo cual ocasionó reducción en el uso de la plata, en procesos industriales, lo que ha contribuido a generar gran oferta con tendencia a la baja de precios.

Otro aspecto importante es que entre el 60% y 65% de la producción de plata es de minería subterránea, como subproducto de la explotación de plomo, zinc, cobre y en menor proporción oro.

Por lo tanto los costos de producción son difíciles de cuantificar. Debido a esto la plata se conoce como un metal "Suavisador" haciendo rentables algunas minas de metales básicos sin su presencia hubiesen sido imposible de explotar. En estas circunstancias la plata estuvo marginada hasta abril de 1987, cuando se le consideró un metal precioso. Las dos características que definen un metal precioso son: su uso en joyerías y compra para almacenar o para invertir en barras. El uso de la plata para acuñar monedas se incrementó en abril de 1987 alcanzando paulatinamente un valor de US\$ 11,40 la onza, iniciando de esta forma un período de inversión en la explotación del metal.

Sin embargo, el uso de la plata es más que todo industrial y no se le vio como un metal precioso, lo cual condujo a la caída inevitable de su precio. Las compras que realizó la India permitieron fortalecer su precio. Se considera, en la actualidad, que alrededor de US\$8,00 la onza, garantizaría la rentabilidad de la explotación y sería buen precio para que se hagan inversiones en explotación.

Tabla 3
PRODUCCION DE PLATA EN EL MUNDO OCCIDENTAL
 (Kg)

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
México	1480	1550	1670	1700	1790	1984	2118	2115	2130	2140
Perú	1670	1670	1720	1770	1850	1925	2006	1711	1718	1725
Canada	1170	1200	1240	1220	1215	1219	1300	1337	1370	1382
USA	1210	1250	1350	1300	1200	1064	1160	1586	1610	1625
Todos los Demás	2590	2620	2740	2770	2914	2803	2806	2385	2440	2450
Chile					330	450	498	467	495	503
TOTAL	8940	9200	9760	9800	10344	10453	10884	10731	10988	10980

Fuente: Mining Annual Review, 1983, 1985, 1988, 1989.

Tabla 4
OFERTA Y DEMANDA DE PLATA EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(kg)

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Producción Minera	8940	9200	9760	9800	10344	10453	10884	10731	10918	1098
Recuper. Secundaria	4180	4370	4760	3620	4800	5100	5570	5480	5620	5840
Oferta Total	13120	13570	14520	13420	15144	15553	16450	16211	16238	1682
Consumo Industrial	10917	11725	14513	13418	13150	12195	11975	12566	13480	1425
Consumo Bloque Este			40	850	45	590	850	450	550	72
TOTAL	10917	11725	14553	14268	13195	12785	12825	13016		

Fuente: Mining Annual Review, 1983, 1985, 1988, 1989.

Aspectos Ambientales

Los problemas ambientales son los mismos que genera el oro, como la contaminación por mercurio del

agua potable, el aire, alimentos y el cuerpo humano. Como la plata se extrae casi exclusivamente como un subproducto del oro de filón la

destrucción física del paisaje es mínima, debido a que la explotación de estos yacimientos es subterránea.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Producción de Plata Período 1985-1991.
TABLA 2. Consumo de Plata en el Mundo Occidental.
TABLA 3. Producción de Plata en el Mundo Occidental
TABLA 4. Oferta y Demanda de Plata en el Mundo Occidental.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Plata.
FIGURA 2. Relación entre la Producción de Oro y Plata en Colombia para el Período 1980-1993.
FIGURA 3. Valor de la Producción de Plata en Colombia para el Período 1980-1992.

BIBLIOGRAFIA

- AGENTON, R.W., 1970. Silver in: Mineral Facts and Problems. U.S. Bureau of Mines. Bull 680, p. 723-737.
- DANE, 1992, Boletín Estadístico, Santafé de Bogotá.
- DRAKE, H.J., 1982. Silver in: Mineral Year Book. Vol, 1, Metals and Minerals. U.S. Dpt, of Interior. Bureau of Mines. p. 751-765, Washington.
- ENGINEERING AND MINING JOURNAL, 1991,1992 y 1993. The International Mining Magazine. Anual Commodities Survey and Outlook. Chicago.
- INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia, 2da. Ed. Pub. Geol. Especial 1. Bogotá.
- MINING ANNUAL REVIEW, 1983, 1985, 1988, 1989.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 1993. Boletín Minero Energético, Santafé de Bogotá.

PLATINO

Rosalba Salinas E. ⁽¹⁾
Raúl Muñoz A. ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

Los elementos del Grupo del Platino (Platinum Group Elements-PGE) están genéticamente relacionados a rocas máficas y ultramáficas de origen y ambientes diferentes tales como:

- Complejos estratificados: Bushveld (Suráfrica, Stillwater USA).
- Complejos zonados: Tulameen (USA), Urales (CEI), Condoto (Colombia).
- Intrusiones independientes: Sudbury (Canadá).
- Ofiolitas: Shetland Islands, Grecia, Turquía, Zambales (Filipinas).

Estos depósitos producen actualmente la mayor parte de la producción mundial. La proporción relativa de los seis metales del PGE y en especial de la proporción de platino y paladio varía de un depósito a otro de acuerdo con el ambiente de generación del magma y el proceso de cristalización fraccionada durante la formación de los diferentes tipos de roca. Las aleaciones naturales de metales del Grupo del Platino se constituyen en general por un 90% de Pt con cantidades menores de rutenio, rodio, iridio y osmio.

Los granos de los PGE en las rocas ultramáficas son densos, físicamente resistentes y químicamente inertes. Debido a esto se concentran en los aluviones luego de la rápida desintegración de la roca huésped. Los placeres platiníferos se caracterizan por la ausencia casi total de paladio y la presencia de oro, ya que durante la formación de éstos, el paladio, y en menor proporción los otros PGE, son solubilizados quedando como remanentes aleaciones de Os-Ir. Los únicos placeres económicamente importantes se encuentran localizados en Colombia, Alaska, Suráfrica y la CEI, aunque sólo representan un 3% de la producción mundial.

(1) Ingeniero Geólogo, Ingeominas Medellín.

(2) Ingeniero Geólogo, Ingeominas Medellín.

Los PGE ocurren en la naturaleza en dos formas: como aleaciones naturales y como compuestos químicos en los cuales actúan como cationes. Las aleaciones son soluciones sólidas de rangos amplios de variación en su composición mientras que los compuestos varían en composición dentro de límites atómicos controlados por sustituciones de aniones y cationes de radio iónico similar. Las aleaciones naturales se designan genéricamente como "platino y osmiridio". La primera incluye cantidades menores de los otros cinco metales (Os, Ir, Ro, Pd, Ru) y el osmiridio, iridio y osmio con cantidades menores de rutenio, rodio y platino.

Las mayores reservas de los PGE se encuentran en el Complejo Básico estratificado de Bushveld (Suráfrica) con cerca del 80% de ellas, siguiendo en importancia las de CEI y Canadá. Las reservas calculadas para depósitos secundarios constituyen menos del 3% del total y entre ellas se consideran las de los ríos San Juan y Atrato en Colombia.

La minería en el Complejo de Bushveld se desarrolla tanto por métodos subterráneos (sistema de tajo largo) como a cielo abierto con plantas de procesamiento del material y refinación de concentrados en Suráfrica y en Gran Bretaña. En el Complejo de Stillwater se utiliza el sistema de corte y relleno utilizando las colas del molino como material de relleno, los concentrados son procesados en Bélgica. La minería de los depósitos aluviales se cataloga desde gran minería con dragas a pequeña minería con bateas y moni-

tores. En Colombia las explotaciones aluviales se catalogan como de mediana y pequeña minería.

Estructura de la Industria

Los PGE se combinan con los elementos calcófilos formando antimonio, arseniuros, sulfuros y teluros entre otros y con elementos de transición, especialmente con hierro, para formar aleaciones. La industria obtiene a partir de los minerales y aleaciones anteriores los concentrados de PGE y posteriormente el material refinado. El platino cuando proviene de filones se recupera por procesos combinados de concentración por gravedad y flotación, mientras que el proveniente de aluviones se obtiene por gravedad.

La separación de los diferentes PGE se hace por procesos complejos de refinación.

El platino, es materia prima básica en gran variedad de procesos industriales y sus usos han venido cambiando a medida que nuevas aplicaciones han sido descubiertas y tienen relación con su actividad catalizadora, su inercia química a altas temperaturas y su alto punto de fusión. En algunas aplicaciones la combinación de varias de sus características hace que el grupo del platino sea insustituible en la industria.

Las industrias química y del petróleo utilizan el platino y sus asociados o aleaciones como catalizadores o para la fabricación de equipos o implementos de laboratorio utilizados en ambientes corrosivos.

Las aleaciones de Pd-Ru, por ser altamente resistentes a la temperatura y a la corrosión se emplean en la fabricación de partes para hornos de fundición de vidrio y protectores de moldes.

Las aleaciones de los PGE se usan como partes de equipos eléctricos y electrónicos, en odontología y medicina.

El platino y el paladio por su escasez, resistencia y facilidad para trabajarlos han sido utilizados en joyería desde hace muchos años.

Características del Mercado

El platino, paladio y rodio son los metales más importantes dentro de los PGE en el sentido comercial, presentan propiedades físicas y químicas en común y frecuentemente son usados en aleaciones entre ellos.

El platino proviene, en gran parte, de Suráfrica y se utiliza en catalizadores para automóviles. El paladio es un subproducto en la minería del platino, níquel, cobre, oro; la CEI es el principal productor de este metal. El rodio es también un subproducto y es utilizado en aleaciones con platino y paladio.

La mayor demanda se encuentra en el uso para catalizadores y artículos de joyería; para el primer caso la demanda depende del mercado mundial de automotores y de las regulaciones sobre el medio ambiente. Para 1993 la demanda de platino alcanzó 4.0 millones de onzas con un

incremento del 5,2% con respecto a 1992.

Se ha incrementado la demanda de paladio para la industria eléctrica, dental y automotriz; el consumo de iridio se ha mantenido constante, el rutenio se incrementó de 151.000 onzas en 1990 a 173.000 onzas en 1995.

Perspectivas de Desarrollo en el País

La producción de platino en el país ha crecido en los últimos años pero conjuntamente con ella han aumentado los problemas de tipo social y ambiental en las regiones productoras, por falta de una infraestructura adecuada y falta de autoridad que haga cumplir las normas sobre control ambiental y la restauración del medio físico.

Situaciones coyunturales como el orden público, disponibilidad de infraestructura, adecuada y los precios, inciden en el desarrollo del recurso y la evaluación confiable de sus proyecciones a mediano y largo plazo. Para el desarrollo de la minería del platino en Colombia se recomienda:

- Es necesario desarrollar en los próximos años proyectos de exploración geológica y geoquímica en el flanco occidental de la Cordillera Occidental y en la Serranía del Baudó, para definir el potencial platinífero tanto a nivel de mineralizaciones primarias como la evaluación de depósitos secundarios.

- Debe existir una proyección del sector oficial en las regiones productoras, de tal forma que éstas reciban beneficios en su infraestructura básica. Al terminar la explotación deben quedar las bases mínimas para su futuro desarrollo.
- El control ambiental debe ser una labor conjunta con la explotación minera procurando minimizar el impacto producido por ésta sobre el paisaje, las aguas y el entorno físico.

SITUACION MUNDIAL

Los principales depósitos de platino se encuentran localizados en Suráfrica, de donde proviene el 80% del metal que se consume en el mundo. La CEI produce el 19% y el resto es producido por Canadá, Estados Unidos y Colombia.

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El platino es un elemento del Grupo de los Metales Preciosos. Se encuentra relacionado con elementos como Osmio, Iridio, Paladio, Rodio y Rutenio y por lo tanto se les denomina en conjunto como Elementos del Grupo del Platino (Platinum Group Elements-PGE)

Los PGE se encuentran asociados a rocas máficas y ultramáficas en:

- Complejos Estratificados: Complejo de Bushveld (Suráfrica) y Stillwater

(Estados Unidos) y el Gran Dique de Zimbawe.

- Complejos Zonados: Tulameen (Estados Unidos), Urales (CEI), Fifield (Australia) y Condoto (Colombia).
- Intrusiones Máficas y Ultramáficas aisladas: Sudbury (Canadá), Noril'sk y Pechenga (CEI).
- Ofiolitas: Shetland Islands, Braganca (Portugal), Grecia y Turquía, China, Indonesia, Zambales (Filipinas), Monte Maggiore (Italia).

Fuentes de platino, de origen secundario, de menor importancia a nivel mundial, lo constituyen los placeres aluviales (Urales, Colombia y Alaska). Estos depósitos fueron la única fuente de platino a nivel mundial hasta 1920, cuando se descubrió el platino primario en el Complejo de Bushveld.

Reservas

De las asociaciones geológicas mencionadas, El Complejo de Bushveld, (Suráfrica) se constituye en la mayor fuente de estos metales. Noril'sk (CEI) y Sudbury (Canadá), producen el resto del Platino. Las demás asociaciones producen alrededor del 1%

Las reservas de platino muestran los siguientes datos (Tabla 1).

Otros nuevos prospectos muestran la siguiente situación:

Rustenburg Platinum y Lebowa Platinum, abrirán una nueva mina,

Tabla II
RESERVAS DE PLATINO EN EL MUNDO

PAISES	TONELADAS	PORCENTAJE %
Suráfrica	24.570	80
Cei	5.900	10
Canadá	250	—
U.S.A.	30	—
Colombia	<1	—
Zimbawe	<1	—
TOTAL	30.750	100

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

con explotación a cielo abierto para producir 170.000 onzas/año, con una vida útil de 30 años. Operaciones propias de la Rusternburg y la Lebowa platinum empezaron a producir en 1992, aproximadamente 100.000 toneladas de mena/mes.

Northam Platinum, posee reservas estimadas de 163 millones de toneladas en el Merensky Reef con tenor de 10,1 g/t de PGE+Au y 319 millones de toneladas con un tenor de 6,6 g/t de PGE+Au. La producción empezó en 1991, en Merensky Reef a una tasa promedio de 1,8 millones de toneladas por año.

En el prospecto de Lefkochryos (Western Platinum Ltd.) las reservas para el Merensky Reef y la UG2 Reef fueron estimadas en 450 millones de toneladas. La mina debe empezar en 1998, en el UG2 a una tasa mensual de 0,160 millones de toneladas de mena con un tenor de 5,9 g/t de PGE + Au.

Impala Platinum's planea un incremento de 1,35 millones de onzas/año para 1995 con adición de 60.000 onzas producidas por una subsidiaria. El Prospecto de Impala Platinum (Marikana) posee reservas estimadas de 130 millones en el Merensky Reef

y 180 millones en el UG2. El tenor es de 5,5 g/t de platino. Se planeó al iniciar en 1987 a una tasa de 0,1 millones de onzas de platino por año. Las reservas en Stillwater han sido estimadas en 12,1 millones de toneladas de mena. La producción de la mina empezó en 1987 con una planeación de producción diaria de 1000 toneladas.

Nuevas Fuentes de Reservas

Las reservas de Bushveld serán por varias décadas la principal fuente de estos metales. Sin embargo, muchas compañías mineras y de exploración continúan buscando mineralizaciones de PGE. En Suráfrica, las áreas del Complejo de Bushveld son el blanco de exploración más obvio, pero existe también considerable investigación en Canadá y Australia. En Colombia, el INGEOMINAS y el BGR (Alemania), realizaron entre 1988 y 1992, una exploración en el Río Condoto (Chocó).

Tipos de Minería

El Complejo de Bushveld, presenta dos tipos de minería, subterránea por el sistema de Tajo Largo y a Cielo Abierto.

Posee plantas de procesamiento del material y refinación de concentrados en Suráfrica y en el Reino Unido. Se utiliza el sistema de corte y relleno, usando las colas del molino como relleno; los concentrados son procesados en Bélgica (Buchanan, 1988). El tipo de minería utilizado en Noril'sk Talnakh es subterránea.

La minería es subterránea en Sudbury. Allí se ha desarrollado un proceso de refinación de platino y paladio.

La minería de los depósitos aluviales se desarrolló por medio de dragas y batea, pero en la actualidad son escasas las explotaciones de este tipo, ya que casi todas han sido suspendidas o se han agotado, a excepción de Colombia y la CEI.

Estructura de la Industria

Los PGE, se combinan con elementos calcófilos formando los minerales que se describen a continuación:

Antimonio: Sudburyita (PdSb), Estibiopaladinita (PdSb), Estumpflita (PtSb) y Geversita (PtSb₂).

Arsénico: Hollingworthita (RhAsS), Irarsita (IrAsS) y Sperryllita (PtAs₂).

Bismuto: Froodita (PdBi₂), Insizwaita (PtBi₂).

Sulfuros: Laurita (RuS₂), Erlichmanita (OsS₂), Braggita (PtPd)S y Cooperita (PtS).

Teluros: Merenskyita (PtTe₂), Michenita (PdBiTe) y Moncheita (PtTe₂).

El platino junto con el iridio, osmio y rutenio, son siderófilos y se combinan

con metales de transición particularmente con hierro, para formar aleaciones metálicas. Así por ejemplo, se tienen minerales como Iridosmio ($\text{Os}_{50}\text{Ir}_{20}$), Osmiridio ($\text{Ir}_{80}\text{Os}_{20}$), Isoferroplatino (Pt_3Fe), Tulameenita (Pt_2CuFe) y Platiniridio ($\text{Ir}_{30}\text{Pt}_{50}$).

El platino en el Complejo de Bushveld, se encuentra asociado en su parte oeste a dos horizontes: El Merensky Reef, principal fuente de PGE en Suráfrica, y la capa de cromitita de 60 cm de ancho denominado UG2.

El Merensky Reef es una roca cúmulus compuesta por ortopiroxeno y cromita, ambos minerales pegmatoides. Los minerales preciosos están asociados con sulfuros. También ocurren aleaciones de platino con hierro en intercrecimientos complejos con sulfuros de metales básicos. Además, en cantidades menores se presentan bismuteluros y otros minerales complejos y una porción significativa ocurre en pirrotitas, pentlanditas o piritita como soluciones sólidas.

Los tenores de este depósito se presentan en la tabla 2 (Buchanan, 1988):

El Complejo de Noril'sk, es una mena de sulfuros de níquel y cobre con PGE, con tenores entre 10,4 g/t a 3,8 g/t. Suministra el 90% de la producción de la CEI. Existen allí otros yacimientos productores de PGE como son Monochegorsk en la Península de Kola y Pechenga (125 Km al Norte sobre la Costa Artica).

El Complejo de Sudbury es una mena de sulfuros de níquel y cobre donde los PGE, con un tenor de 0,9 g/t, se re-

Tabla 2
TENORES DE PGE EN SURAFRICA

PGE	MERENSKY		UG2	
	TENOR g/t	%	TENOR g/t	%
Platino	4.82	59.50	3.22	39.20
Paladio	2.04	25.20	3.24	39.50
Rutenio	0.66	8.10	0.87	10.60
Rodio	0.24	3.00	0.54	6.60
Iridio	0.08	1.00	0.27	3.30
Osmio	—	<1.00	—	<1.00

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

cuperan como subproducto. Esperyllita y Bismutiuros de Paladio son los platinoides presentes.

La mineralización en Stillwater se encuentra en el J-M Reef, con tenores de 4,25 g/t de platino y 14,89 g/t de paladio (capas con sulfuros). Los minerales presentes son aleaciones de platino y hierro, rodio platino y platino rodio.

Los productos semielaborados corresponden a los concentrados de PGE y posteriormente al material refinado. El platino cuando proviene de filones o vetas se recupera por procesos combinados de concentración por gravedad y flotación. Los concentrados de la explotación de placeres aluviales son obtenidos por concentración por gravedad. La separación posterior de los metales individuales de PGE se hace por métodos complejos de refinación. En el caso de Sudbury, donde el platino es un subproducto del proceso de extracción de níquel y cobre, este es separado por refinación electrolítica.

El platino debido a sus propiedades físicas, químicas y eléctricas, se constituye en un grupo mineral indispensable en gran variedad de proce-

tos industriales. Funde a temperaturas más altas que la mayor parte de los metales (1769°C). Puede ser trabajado en forma de láminas y alambres y es un buen conductor de la electricidad. Es un metal inerte, no se corroe fácilmente ni reacciona con otros elementos y permanece brillante y libre de pátina; es catalizador de muchas reacciones químicas y esta última propiedad ha incrementado su uso.

El platino, paladio y rodio tienen su mayor utilización como catalizadores para automóviles; los catalizadores de Pt pueden ser un importante elemento para mejorar la calidad del aire.

En 1990 se inició en el Japón y USA el proceso de fabricación de las "fuel cells" con electrodos de platino, las cuales pueden producir electricidad a partir de hidrógeno sin contaminar el aire, similares a las plantas convencionales que generan energía. Se piensa que para el año 2000 pueden ser instaladas varias plantas en otros países del mundo.

La industria química utiliza los PGE en sustancias químicas y farmacéuticas y en equipos e implementos de laboratorio donde el ambiente es corrosivo.

La industria del petróleo usa catalizadores de Pt, Pt-Ir y Pt-Rh en procesos para incrementar el octanaje de la gasolina y producir benceno, tolueno y xileno para procesos químicos y de isomerización y producción de derivados del petróleo.

Las aleaciones de Pd-Ru, por su alta resistencia a la temperatura en condiciones corrosivas, se usan en la fabricación de partes de hornos para fundición de vidrio y como protectores de los moldes para fabricar vidrio óptico. En la fabricación de la fibra de vidrio se usan bujes y platos perforados de Pt-Ru para pasar a través de ellos materiales fundidos, produciendo la fibra de vidrio.

Las aleaciones de PGE se usan en equipos electrónicos y eléctricos, termostatos, termopares, colectores de motores eléctricos, bujías, imanes superresistentes, tubos eléctricos, circuitos impresos y resistencias; reguladores de bajo voltaje en telefonía o de alto voltaje para minimizar la producción de puntos quemados en los metales por la transmisión del arco eléctrico, normalmente corresponden a aleaciones de Pt-Ir, Pt-Ru.

Además, se utilizan en odontología y medicina, en ortodoncia y prótesis dental por su alta resistencia a la destrucción, esfuerzo y corrosión y porque se puede disminuir el tamaño de algunas piezas, como componente de las bases de montaje para piezas de porcelana. En medicina se emplea como pares de cauterización, en agujas hipodérmicas y en marcapasos.

Características del Mercado

El platino, paladio y rodio son los metales más importantes dentro de los PGE en el sentido comercial. Presentan propiedades químicas y físicas en común y frecuentemente son usados en aleaciones entre ellos.

El platino proviene principalmente de Suráfrica y es usado en especial como catalizadores para automóviles. El paladio es extraído como subproducto de platino, níquel, cobre u oro y la CEI es el principal productor.

El rodio también es explotado como subproducto y es usado en aleaciones con platino o paladio.

DEMANDA

Analizando los datos de la tabla 3 se puede observar que la mayor demanda de estos elementos se encuentra en el uso de catalizadores para automóviles y en artículos de joyería. En el caso de los catalizadores, la demanda depende del mercado mundial de automóviles y de las regulaciones sobre el medio ambiente. En algunos países de Europa Occidental como Alemania, el 95 % de los carros nuevos se construyen con autocatalizadores incorporados. En Italia y El Reino Unido este porcentaje alcanza el 20%. La CEE se propone establecer en forma estricta los controles ambientales de tal forma que en 1996-1997, el uso de los catalizadores será forzoso. Esto incrementará las ventas de platino en un 70% para 1993.

El Japón, en 1991, disminuyó la producción de carros tanto para con-

sumo interno como para exportación y por esto se observa una baja en la demanda de platino al igual que en Norteamérica. Sin embargo, en USA las regulaciones sobre el medio ambiente empezaron a aplicarse en 1994 y por lo tanto la demanda de platino se incrementará.

El uso del platino en convertidores catalíticos diseñados para emisiones limpias de fábricas y pequeñas empresas aumentará también la demanda.

Respecto al mercado mundial de platino con destino a la joyería, donde los japoneses son los líderes, se han incrementado las ventas, al igual que en Europa Occidental. El uso del platino para otras industrias como la química y del petróleo incrementaron las ventas para 1991 pero la industria eléctrica disminuyó la demanda. Lo anterior explica por qué en 1993 la demanda de platino alcanzó los 4,0 millones de onzas, con un aumento del 5,2 % con respecto a 1992.

El consumo de paladio se ha incrementado en la industria eléctrica, dental y automotriz (Tabla 4).

La demanda para rutenio se incrementará de 151.000 onzas en 1990 a 173.000 onzas en 1995. El consumo de iridio se ha mantenido constante.

OFERTA

La oferta de platino en el Mundo Occidental alcanzó 4,38 millones de onzas en 1992, comparada con 4,4 millones de onzas en 1991, distribuidos así:

- Suráfrica 2,82 millones de onzas.

Tabla 3
DEMANDA DE PLATINO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Onzas)

PRODUCTO	AREA	1987	1988	1989	1990	1991(E)
Autocatalizadores (Platino Primario)	Norteamérica	690000	690000	725000	690000	625000
	Europa Occidental	225000	245000	310000	37500	435000
	Japón	310000	33000	360000	395000	385000
	Resto mundo Occid.	30000	50000	60000	70000	90000
Autocatalizadores (Platino Reciclado)	Norteamérica	100000	135000	150000	175000	175000
	Europa Occidental	5000	10000			
	Japón	15000	25000	25000	35000	40000
Químicos	Norteamérica	55000	55000	55000	50000	75000
	Europa Occidental	80000	50000	50000	60000	55000
	Japón	15000	15000	15000	25000	20000
	Resto mundo Occid	45000	40000	45000	80000	65000
Eléctricos	Norteamérica	65000	65000	75000	80000	80000
	Europa Occidental	40000	40000	40000	40000	40000
	Japón	45000	45000	50000	50000	50000
	Resto mundo Occid	30000	35000	30000	35000	30000
Vidrio	Norteamérica	25000	25000	30000	25000	20000
	Europa Occidental	30000	30000	35000	25000	25000
	Japón	45000	45000	40000	50000	35000
	Resto mundo Occid	20000	30000	35000	35000	45000
Inversión (pequeña)	Norteamérica	85000	85000	50000	5000	40000
	Europa Occidental	65000	55000	35000	40000	35000
	Japón	335000	415000	65000	140000	200000
	Resto mundo Occid.	5000	75000	10000	15000	30000
Joyería	Norteamérica	15000	15000	20000	20000	20000
	Europa Occidental	45000	70000	75000	80000	90000
	Japón	900000	1060000	115000	1190000	1280000
	Resto mundo Occid.	30000	35000	55000	75000	80000
Petróleo	Norteamérica	15000	15000	40000	40000	50000
	Europa Occidental	25000	5000	10000	40000	20000
	Japón				15000	15000
	Resto mundo Occid.	15000	30000	25000	45000	40000
Otros	Norteamérica	50000	50000	50000	55000	55000
	Europa Occidental	50000	50000	45000	45000	50000
	Japón	15000	15000	15000	15000	20000
	Resto mundo Occid.	5000	5000	5000	5000	5000
TOTAL	Norteamérica	1110000	1135000	1195000	1140000	1140000
	Europa Occidental	5656000	555000	1000	3675000	750000
	Japón	1680000	1653000	685000	1915000	2045000
	Resto mundo Occid.	180000	6000	265000	360000	385000

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

Tabla 4
DEMANDA DE PALADIO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Onzas)

PRODUCTOS	1987	1988	1989	1990	1991
Autocatalizadores (Platino primario)	270.000	265.000	260.000	315.000	360.000
Autocatalizadores (Platino reciclado)	50.000	65.000	70.000	85.000	90.000
Dental	955.000	995.000	995.000	1020.000	1080.000
Eléctricos	575.000	1705.000	1655.000	1675.000	1830.000
Joyería	165.000	180.000	180.000	195.000	205.000
Otros	270.000	260.000	315.000	300.000	305.000
TOTAL	2285.000	3470.000	3475.000	3590.000	3870.000

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

- La CEI 750.000 onzas.
- El suministro del resto del mundo (producto de minería o de reciclaje) alcanzó 810.000 onzas.

Un ligero incremento en la oferta, 4,5 millones de onzas, se prevé para 1993. La oferta de paladio ha continuado incrementándose desde 1989, permaneciendo alta en 1992 con 1,9 millones de onzas y se espera que continúe su lento crecimiento de 1,7% en 1993 (Tabla 5)

La oferta en el mundo para 1992 fue

de 3,28 millones de onzas distribuidos así:

- Suráfrica: 1,38 millones de onzas
- CEI: 1,9 millones de onzas

PRECIOS

Durante 1992, el mercado del platino se caracterizó por el predominio de la oferta sobre la demanda, hecho que ha venido ocurriendo desde 1986. Esto ocasionó la disminución de los precios en los últimos 5 años, desde US\$558,98 /onza (1986), a US\$360 /onza (1992) y US\$367,75 /onza en 1993.

La demanda por su parte creció a una tasa de 6,0-9,3% entre 1987 y 1990. Debido a las condiciones de recesión en 1991 la tasa de la demanda bajó a 5,0% y en 1992 bajó a 3,2%. Es decir que el precio del platino ha disminuido debido a una expansión de la oferta y no a la disminución de la demanda. En la figura 1 se observa la variación de los precios del platino a partir de 1968.

El precio del paladio, sufrió un fuerte incremento en 1989 llegando a US\$147,12 /onza con un aumento de

Tabla 5
OFERTA DE PALADIO EN EL MUNDO
(Onzas)

REGIONES	1987	1988	1989	1990	1991
Suráfrica	1090.000	1105.000	1150.000	1230.000	1310.000
Norteamérica	190.000	370.000	375.000	370.000	385.000
Otros	90.000	70.000	60.000	70.000	75.000
CEI	1790.000	1770.000	1650.000	1870.000	2150.000
TOTAL	3160.000	3315.000	3235.000	3540.000	3920.000

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

(17,3%). En 1990 debido a la sobreoferta, los precios cayeron a US\$114,5/onza y continuaron bajando, en 1992 US\$85,59/onza. Para 1993 el precio se encuentra en US\$116,0/onza. En la figura 2, se observa la variación de los precios desde 1968.

El rodio es un subproducto de la explotación de platino y paladio, y su demanda es mayor que la producción. En 1989 el precio del rodio alcanzó un valor de US\$1280/onza. En 1990 pasó por los valores de 7000, 4000 y finalmente US\$3600/onza. En 1991 alcanzó valores de US\$2418/onza y US\$1750/onza en (1993). En la figura 3 se observa la variación de los precios desde 1968.

Proyecciones

Johnson Mattews (1991) predice que el consumo de platino en el mundo se incrementará en los próximos 10 años en un 30%. Suráfrica continuará siendo, el mayor productor pri-

mario si continúa a la tasa de producción actual y con su proceso de explotación hasta profundidades donde la tecnología de minería existente lo permita.

Suráfrica y la CEI suministran el 85% del platino que se consume a nivel mundial, por lo tanto el mercado internacional estará sujeto a los cambios económicos y políticos que se desarrollen en ellos.

NIVEL NACIONAL

La producción de PGE en Colombia proviene de depósitos de origen aluvial, principalmente en el Departamento del Chocó, en la cuenca de los ríos San Juan y sus afluentes (ríos Condoto, Opogadó, Sipí, Nóvita, Cajón, y Tamaná); Río Atrato (con sus afluentes Neguá, Bebará, Murrí y río Sucio); en el Departamento de Nariño en la Cuenca del Río Patía con su afluente el Río Telembi; los ríos Micay,

Timbiquí y Guapí, en el Departamento del Cauca; el Río Nechí (con sus afluentes los ríos Cuturú, La Escuela y Cacerí, al norte del Departamento de Antioquia sobre la Cordillera Central).

Aspectos Geológico-Mineros

Los depósitos de PGE explotados en Colombia (Figura 4) son de tipo aluvial de edad cuaternaria que se han formado por erosión y posterior acumulación de materiales provenientes de rocas máficas y ultramáficas presentes en el eje de la Cordillera Occidental; en el centro y norte del Departamento de Antioquia se han reportado placeres auroplatiníferos, los cuales proceden de la erosión de cuerpos ultramáficos existentes en la Cordillera Central.

La cuenca del Río San Juan en el Departamento del Chocó, ha sido por muchos años el centro de mayor producción de platino en Colombia. Investigaciones recientes (Muñoz et al,

VARIACION DE LOS PRECIOS DEL PLATINO
(ESPACIOS EN BLANCO SIN DATOS)

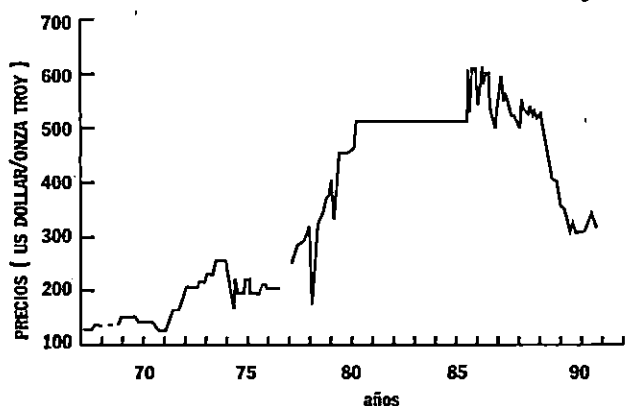


Figura 1

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

PRECIOS DEL PALADIO
(ESPACIOS EN BLANCO SIN DATOS)

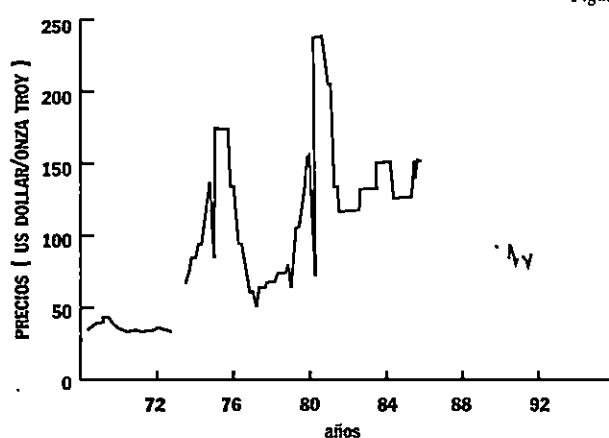
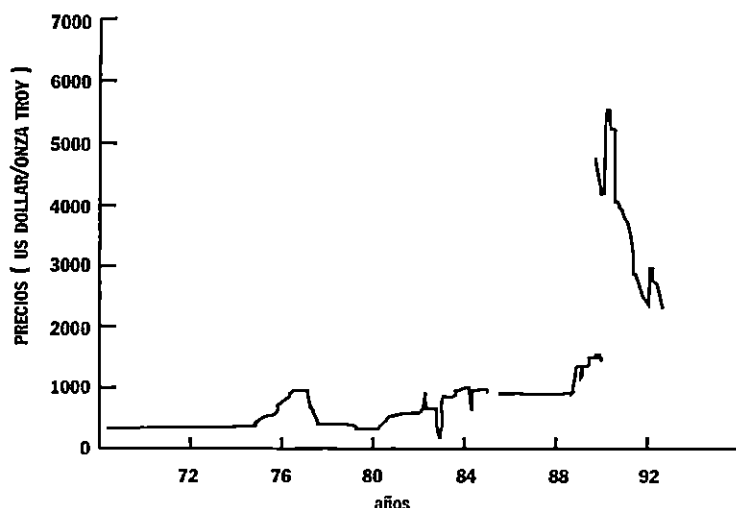


Figura 2

Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

PRECIOS DEL RODIO (ESPACIOS EN BLANCO SIN DATOS)

Figura 3



Fuente: Engineering and Mining Journal (1986-1993)

1990; Salinas et al, 1991), atribuyen el origen de los placeres platiníferos del Departamento del Chocó (especialmente los del Río San Juan) a la erosión y posterior depositación de materiales provenientes de rocas ultramáficas de composición dunita-peridotita, que afloran a lo largo de la Cordillera Occidental (Complejo Ultramáfico del Alto Condoto y Viravira, entre otros).

Estos depósitos están compuestos por fragmentos tamaño guijarro pobremente seleccionados y bien redondeados en una matriz arenosa. En el Río Condoto, los guijarros son de diorita, gabro, basalto, chert, andesita, pórfidos andesíticos, cuarzo lechoso y piroxenitas. Las rocas ultramáficas casi nunca se observan en estos placeres debido a que se meteorizan rápidamente y se desintegran durante el transporte.

Los depósitos localizados en el Departamento del Chocó son auroplatiníferos. Los concentrados contienen aproximadamente 55% de oro y 45% de platino. En la zona del Río Sucio (Urabá antioqueño) existen también aluviones auroplatiníferos con 55% de oro y 25% de platino y en la zona del Río Nechí los aluviones son auríferos y el platino se extrae como subproducto.

Investigaciones microscópicas, mineralógicas y microanalíticas de granos de PGE provenientes de los placeres aluviales del Río Condoto (Muñoz et al, 1990) muestran que se trata de aleaciones de Pt-Fe, en su mayoría isoferroplatino (Pt₃Fe), con inclusiones de tamaño entre 5 y 20 μm de aleaciones de Ru-Os-Ir; sulfuros de Ru-Os (laurita, erlichmanita), de Ir-As (irarsita), de Pt (cooperita) de Ir-Rh y Os-Ir. Rara vez se encuentra cromita con inclusiones de la aleación PtFe,

pero es común como intercrecimiento periférico. Las rocas del Complejo Ultramáfico del Alto Condoto tienen valores de PGE entre 3 y 120 ppb de Pt; de 0-100 ppb de Pd y en rocas serpentizadas asociadas al complejo Viravira entre 6-21 ppb de Pt y de 2-10 ppb de Pd; contenidos no económicos pero significativos desde el punto de vista de la exploración y génesis de los PGE.

RESERVAS

Pocos son los estudios sobre evaluación económica de los depósitos aluviales platiníferos que se han efectuado en Colombia. En la Cuenca de los ríos San Juan y Atrato en el Chocó (Calle et al, 1984) se presentan los siguientes datos sobre reservas (calculadas sobre estudios detallados, sondeos y datos de explotaciones superficiales sujetos a comprobación). (Tabla 6).

Las reservas en el área del Río Sucio (Urabá Antioqueño), fueron calculadas a partir de 504 m perforados en 68 pozos, realizados en un área de 0,5Km², encontrándose una relación de Oro/ Platino de 9/1 (INGEOMINAS - Naciones Unidas, 1977).

Se usaron 2 categorías de tenor de corte:

- Para un tenor de corte de 100 mg Au-Pt/m³ para intervalos y de 250mg Au-Pt/m³ para secciones de pozos se encontró un contenido de Au-Pt de 598 kg (539 kg de Au y 60 kg de Pt).
- Para un tenor de corte de 150 mg Au-Pt/m³ para intervalos y de 300mg Au-Pt/m³ para secciones de

Tabla 6
RESERVAS MEDIDAS E INFERIDAS DE PGM,
CUENCAS SAN JUAN Y ATRATO

RESERVAS	Kg DE METAL
RESERVAS MEDIDAS	
Condoto - Opogodó	2.475,31
Río Iró	8,56
Río San Juan	1.333,06
Río Siruco	149,98
Río Tamaná	271,41
Río Cabi	153,23
RESERVAS INFERIDAS	
Cértegui	465,20
Río Bebaramá	177,00

Fuente: INGEOMINAS 1987

pozos, se calcularon 543 kg de Au-Pt (489 kg de Au y 54,5 Kg de Pt).

Las demás regiones productoras del país no poseen información acerca de las reservas.

TIPOS DE MINERÍA

Los PGE se extraen principalmente de acumulaciones aluviales formadas durante el Cuaternario.

La minería está concentrada en el Departamento del Chocó en los municipios de Tadó, Itsmina, Condoto, Sipí y Novita. Las explotaciones de los aluviones se realiza por diferentes tipos de minería: la pequeña minería o de barequeros, que son grupos de trabajadores que utilizan motobombas y elevadores; mediana minería, con inversiones en maquinaria como volquetas, retroexcavadoras y bulldozers; la gran minería utilizando grandes dragas eléctricas en el río San Juan y sus tributarios. Hoy en día no existe la gran minería, ya que, la compañía Chocó Pacífico S.A creada en 1926 y que se convirtió en Mineros del Chocó S.A, entró en liquidación,

más por problemas administrativos que por agotamiento del depósito.

La minería aluvial genera problemas minero-ambientales relacionados a la ilegalidad de la gran mayoría de las minas, a la falta de conciencia de los mineros en este aspecto y a la carencia de una política concreta al respecto. Los mayores problemas que se tienen en las explotaciones auríferas platiníferas son:

- Tala indiscriminada del bosque primario.
- Pérdida de capa vegetal.
- Falta de restauración de los terrenos.
- Inestabilidad de terrenos a causa de la explotación indiscriminada y antitécnica.
- Aumento de la erosión.
- Contaminación química de las aguas ocasionada principalmente por uso de mercurio y cianuro y en menor proporción metales pesados.
- Aporte de gran cantidad de sedimentos a los ríos, lo cual ocasiona problemas de inundación en épocas de invierno.

Estructura de la Industria

La industria de los PGE en Colombia no existe; esta se reduce a la extracción en las minas por los métodos mencionados. Esta producción mezclada con oro es adquirida por los compradores a los barequeros en los pueblos donde están ubicados los depósitos o directamente en la mina. Los compradores a su vez, después de separarlo manualmente, lo venden al Banco de la República en Quibdó, Medellín, Santafé de Bogotá u otras ciudades. Los grandes mineros como

la compañía Chocó Pacífico S.A lo vendían directamente en el extranjero. Los PGE no sufren ningún grado de transformación.

Aplicaciones Industriales La industria que en sus diferentes áreas utiliza PGE depende fundamentalmente de las importaciones de diferentes aleaciones; en Colombia la industria requiere productos elaborados de PGE como catalizadores en la refinación del petróleo, los cuales incrementan el octanaje de la gasolina y reducen el grado de contaminación de ésta; en la producción de benceno, tolueno y xileno y en los procesos de isomerización para producción de derivados del petróleo.

La industria química utiliza el platino para varios productos químicos y farmacéuticos y en equipos e implementos de laboratorio donde, el ambiente es corrosivo.

Las aleaciones de Pd-Ru, por su alta resistencia a la temperatura en condiciones corrosivas, se usan en partes de hornos para fundición de vidrio y como protectores de los moldes para fabricar vidrio óptico. En la fabricación de la fibra de vidrio se usan bujes y platos perforados de Pt-Ru para pasar a través de ellos materiales fundidos.

Las aleaciones de PGE se usan en varios objetos electrónicos y eléctricos: termostatos, termopares, colectores de motores eléctricos, bujías, imanes super resistentes, tubos eléctricos, circuitos impresos y resistencias, reguladores de bajo voltaje en telefonía o de alto voltaje para minimizar la

producción de puntos quemados en los metales.

Se utilizan también aleaciones de este metal, en odontología, medicina, ortodoncia y prótesis dental; debido a su alta resistencia como bases de montaje en piezas de porcelana. En medicina se emplea como pares de cauterización, en agujas hipodérmicas y en marcapasos.

Características del Mercado

La producción de platino en Colombia, proviene en un 99% del Departamento del Chocó y el restante (1%) de otros sitios. Esta producción es comprada por el Banco de la República y exportada sin ningún grado de transformación (Tabla 7).

DEMANDA

La industria nacional demanda de productos acabados de platino y sus metales asociados. En Colombia el platino no sufre transformación, por lo tanto todos los productos acabados de platino y metales asociados deben ser importados.

OFERTA

La información que se tiene sobre exportaciones de platino en Colombia de acuerdo con los datos suministrados por el DANE (1992) se presentan en la figura 5. En ella existen 2 descensos fuertes en los años de 1987 y 1989, ocasionados ante todo por el manejo de las exportaciones del Banco de la República y no por caída de la producción.

Tabla 7
PRODUCCION DE PLATINO POR DEPARTAMENTOS
Onzas Troy

	1991	1992	1993 (*)
Chocó	52127.4	61239.3	26115.9
Bolívar	436.0	465.6	105.6
Cauca	335.9	362.7	128.1
Antioquia	353.8	497.8	392.2
Nariño	148.0	126.6	100.3
Córdoba	51.3	25.3	0.6
Caldas		144.8	7.6
Valle	8.5	10.0	
TOTAL	53460.9	62812.1	26850.4

*Información a Junio

Fuente: Banco de la República, Metales Preciosos/1993.

PRECIOS

El Banco de la República compra el platino conforme es explotado, sin discriminar los metales asociados, y su precio está regulado por los precios internacionales, tomando como base la Bolsa de Londres.

El Banco vende a compradores internacionales el total como platino, el cual después es separado en los diferentes elementos del grupo del platino y restando las comisiones, seguros y transporte, la diferencia es reintegrada al Banco. La producción de

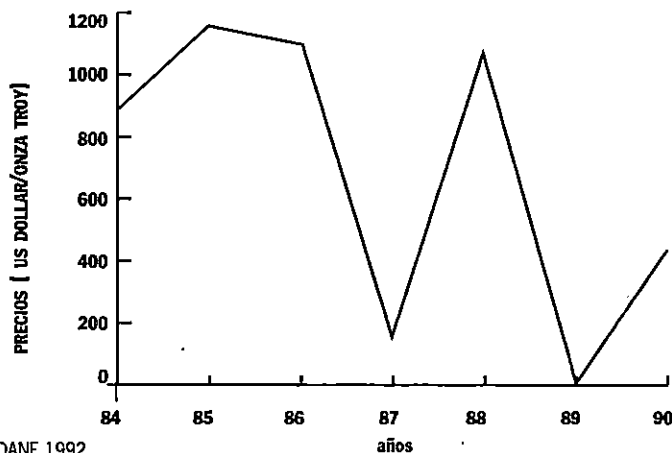
Colombia en el período 1940- 1991 y el precio se observan en la tabla 8.

Proyecciones

Aunque la producción ha crecido en los últimos años, los problemas de tipo social y ambiental de las regiones donde se explotan los aluviones platiníferos han ido en aumento. Todo lo anterior, sumado a la carencia de vías, medios de comunicación, servicios públicos y a la falta de una política definida de exploración, ase-

EXPORTACIONES DE PLATINO

Figura 5



Fuente: DANE 1992.

sofía y manejo del recurso, no permiten realizar una evaluación confiable de las proyecciones de este recurso en el país.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

La producción de PGE en Colombia presenta altos y bajos, pero siempre ha generado divisas al país. Estos ingresos no se han reinvertido en las regiones donde se explotan los aluviones; aunque su explotación ha generado grandes problemas sociales y ambientales. Sin embargo estos

problemas coyunturales pueden ser corregidos con medidas políticas y sociales orientadas a la exploración y adecuación, de tal forma que disminuyan el impacto ambiental y social por la explotación y generen una infraestructura mínima para la región productora.

La industria del platino y de sus elementos asociados, en Colombia es poco halagueña, debido a los siguientes considerandos:

- La producción colombiana comparada con la mundial es inferior al 1%.
- La industria de refinación y separación del platino y sus elementos

asociados requiere de alta tecnología, que por consiguiente es demasiado costosa.

Lo anterior indica que es más conveniente para el país seguir exportando el platino producido e importar productos elaborados.

RECOMENDACIONES

- Deben desarrollarse programas de exploración de roca fuente primaria de PGE y de zonas aluviales, a lo largo de la margen occidental de la Cordillera Occidental y de la Serranía del Baudó y llevarlos a la fase de evaluación económica.

- Debe existir un control ambiental de tal forma que el impacto producido por la explotación sea mínimo. La recuperación del paisaje, de la capa vegetal y la protección de las fuentes de agua deben ser tareas básicas complementarias de la explotación minera.

- La proyección del sector político en las regiones productoras permitiría un mayor control de las explotaciones y un real beneficio para la región.

Tabla 8
PRODUCCION DE PLATINO EN COLOMBIA

AÑO	ONZ. TROY	\$(1000)	AÑO	ONZ. TROY	\$(1000)
1940	35,859	3,380	1966	15,671	27,894
1941	37,349	3,280	1967	12,411	27,912
1942	43,103	3,287	1968	25,280	89,631
1943	34,564	3,321	1969	27,805	120,000
1944	34,304	3,341	1970	26,038	57,540
1945	34,757	3,410	1971	28,081	47,241
1946	11,060	3,560	1972	2,411	56,215
1947	3,000	3,380	1973	26,358	84,409
1948		3,312	1974	21,125	81,205
1949		3,312	1975	22,114	78,534
1950		3,339	1976	16,778	58,701
1951	17,157	3,380	1977	17,315	62,456
1952	19,801	4,541	1978	14,943	111,158
1953	29,201	5,370	1979	12,932	150,930
1954	28,465	4,762	1980	14,345	320,919
1955	27,256	4,594	1981	14,804	276,015
1956	26,215	5,322	1982	11,886	194,603
1957	19,830	5,263	1983	10,303	281,555
1958	16,036	2,206	1984	10,108	296,337
1959	18,846	2,377	1985	11,650	408,043
1960	20,865	2,920	1986	14,368	1,093,425
1961	20,232	10,350	1987	21,855	2,032,634
1962	14,100	6,766	1988	26,040	4,213,120
1963	22,983	15,962	1989	31,279	6,028,188
1964	20,647	14,337	1990	42,318	9,092,700
1965	11,141	7,736	1991	51,324	12,034,600

Fuente: MINMINAS. Mayo 1990 Oficina de Planeación, Sistemas y Estadística. Estadística Minero-Energética 1940-1990, Bogotá.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas de Platino en el Mundo.
TABLA 2. Tenores de PGE en Suráfrica.
TABLA 3. Demanda de Platino en el Mundo Occidental.
TABLA 4. Demanda de Paladio en el Mundo Occidental.
TABLA 5. Oferta de Paladio en el Mundo.
TABLA 6. Reservas Medidas e Inferidas de PGM, Cuenca San Juan y Atrato.
TABLA 7. Producción de Platino por Departamentos.
TABLA 8. Producción de Platino en Colombia.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Variación de los Precios del Platino.
FIGURA 2. Precios del Paladio.
FIGURA 3. Precios del Rodio.
FIGURA 4. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para PGE.
FIGURA 5. Exportaciones de Platino.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, E., 1987. Platino. Recursos Minerales de Colombia INGEOMINAS Pub. Geol esp. 1:32-46, Bogotá.
- BUCHANAM, D. L., 1988. Platinum Group Elements Exploration. Amsterdam.Elsevier p: 184
- CALLE, B., URREA, S. & MUÑOZ, V., 1984. - Estudio sobre Posible Reactivación de Mineros del Chocó, S.A. INGEOMINAS- Mineros de Antioquia, S.A. - ECOMINAS. Informe inédito.
- CLARK, C.R., 1987. The Platinum: Recent History and Future Developments. Geoplatinum 87 p:13-20
- COOMBS, J. 1991, PLatinum 1991. Ed. Johnson Matthey. 64p. Londres
- DANE. 1992. Banco de Datos.
- ENGINEERING AND MINING JOURNAL. 1986-1993. Survey and Outlook.
- ETAYO, F. et al, 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publ. Geol. Esp. No 14 Pp.1-235.
- FARABEE, W.C. 1921. A Golden Heard from Ecuador. Pennsylvania Univ. Mus. Journal, 12:p 43- 2. Pennsylvania
- FINDLAY, D. C., 1969: Origin of the Tulameen Ultramafic - Gabro Complex, Southern British Columbian.-Can. Journ Earth Sei., 6, p. 399-425, Ottawa.
- INGEOMINAS- NACIONES UNIDAS. 1977. Proyecto Metales Preciosos en las Cuencas de los ríos Atrato y San Juan, Departamentos del Chocó y Antioquia. Informe Técnico. DP/Unicol. 72- 006/11. N. Y. 237p.
- MINMINAS.,1990: Estadística Minero-Energético 1940-1990.-Oficina de Planeación, Sistemas y Estadística, Bogotá.
- MORRISEY,C.J., 1987. Exploration for Platinum: a Contemporary viewpoint. Geoplatinum 1987p:1-20
- MUÑOZ, R., SALINAS R., JAMES M., BERGMANN H., & TISTL M., 1990. Mineralizaciones Primarias de Minerales del Grupo del Platino y Oro en la Cuenca de los Ríos Condoto e Iró (Chocó), Colombia. BGR-INGEOMINAS, Informe Técnico, 304 p., Medellín.
- MUÑOZ, R. Y SALINAS, R. 1992. Platino. Informe Interno.
- NIXON, G. T., CABRI, L.J. & LAFLAMME, J.H., 1989: Origin of Platinum Nuggets in Tulameen Placers: A Mineral Chemistry Approach with Potencial for Exploration. Expl. in B.C., Ministry of Energy, Mines and Petroleum, 1989: B83 - B89.
- RAICEVIC, D. & CABRI, L.J. 1976. Mineralogy and Concentration of Au and Pt-Bearing Placers from the Tulameen River Area in British Columbia - Can. Inst. Min. Metal., CIM Bull., Pp. 111 - 119, Ottawa.
- ROWE J.J., HAFFTY J. and PAGE N., 1976. Platinum Metals in the Stillwater Complex, Montana. Economic Geology V 71 p: 1352-1363.
- SALINAS, R., JAMES M., MUÑOZ R. & TISTL M., 1990. Seminario-Taller Metales Preciosos en la Cuenca de los Ríos Condoto e Iró, Chocó. INGEOMINAS -BGR, 124 p, Medellín.
- SALINAS, R., MUÑOZ, R., BURGATH, K.K & TISTL, K., 1992. Mineralizaciones Primarias del Grupo del Platino en el Complejo Ultramáfico Zonado del Alto Condoto, Chocó, Colombia. INGEOMINAS-BRG, Informe Técnico, 216p., Medellín.
- TISTL, M., BURGATH, K.P., HOHNDORF, A., KREUZER, H., MUÑOZ, R. & SALINAS, R., 1992: K/Ar Dating, Sm - Nd and Rb - Sr Systematics of Tertiary Ultramafic Complexes at Condoto, Chocó, NW Colombia, en prep.
- VERMAAK, C.F Y HENDRIKS L.P., 1976. A Review of the mineralogy of the Merensky Reef, with specific reference to new data on the precious metal mineralogy. Economic Geology V 71 p: 1244 - 1269.
- WHITE, H.E. 1944. Contribución al estudio de los placeres auríferos del Río Sucio (Urabá - Ant.). Informe inédito,10p.



RESUMEN

La historia de las esmeraldas colombianas se pierde en la época precolombina teniéndose conocimiento de su utilización por parte de nuestros indígenas para el comercio por trueque.

El control de este recurso durante la época de la Colonia y hasta hace pocos años, se caracterizó por malos manejos y medidas de fuerza que han generado presiones sociales, épocas de violencia y cierres temporales de las minas.

Colombia produce la mayor cantidad de esmeraldas y las de mejor calidad en el mundo, destacándose las del distrito de Muzo (incluye las del municipio de Quípama) aunque también se producen esmeraldas de muy buena calidad en las regiones de Chivor, Coscuez y Peñas Blancas (Departamento de Boyacá), así como en Ubalá y Gachalá (Departamento de Cundinamarca).

MINERALCO S.A., sociedad anónima del Estado, explora y explota los yacimientos de esmeraldas por intermedio de contratos con particulares, propendiendo por su explotación técnica y racional, así como por la protección del Medio Ambiente.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

El nombre esmeralda o smaragdos remonta su origen a la antigua Persia o la India y significa simplemente "Piedra Verde". En la antigüedad se denominaron así a todas las gemas verdes conocidas.

La esmeralda es una variedad del mineral llamado berilo que obedece a la fórmula química de $A_{12}Be_3(Si_6O_{18})$, silicato de berilio y aluminio con una dureza en la escala de Mohs de 7,5 a 8 y un peso específico entre 2,67 y 2,78. La sustancia colorante es el cromo y a veces el vanadio. El color es resistente a las altas temperaturas y sólo se modifica a temperaturas mayores de 700°C. Cristaliza en el sistema hexagonal, formando prismas de seis caras.

Las características físicas tales como peso específico, índice de refracción y birrefringencia, así como el pleocroismo varían según el yacimiento. La esmeralda es resistente a sustancias químicas excepto al ácido fluorhídrico.

Las propiedades ópticas de la esmeralda adquiere una importancia primordial y están determinadas por el color, el brillo y la transparencia o diafanidad.

Frecuentemente la esmeralda contiene inclusiones gaseosas, líquidas o sólidas conocidas como "jardín". Estas inclusiones o impurezas son una prueba de la autenticidad y origen de la gema, con respecto a las

piedras sintéticas y otras imitaciones; sin embargo, la presencia de inclusiones visibles o fácilmente reconocibles y grietas de tensión que reducen el brillo y la transparencia del cristal y perturban el color, desmejora la calidad de la esmeralda y por lo tanto su valor comercial.

La calidad más preciada de las esmeraldas colombianas es la llamada "Gota de Aceite" la cual exhibe el color verde más profundo con una transparencia y brillo o "vida" del cristal excelentes. Esmeraldas de esta calidad generalmente provienen de las Minas de Muzo y Quípama pero son escasas.

A excepción de las esmeraldas colombianas los principales depósitos del mundo se encuentran en diques pegmatíticos o venas hidrotermales encajados en rocas metamórficas. Las mineralizaciones colombianas son las únicas de importancia en el mundo localizadas en venas hidrotermales, encajadas en rocas sedimentarias.

Se han obtenido esmeraldas de calidad aceptable en la región de Los Urales en la antigua Unión Soviética, en venas hidrotermales dentro de rocas metamórficas. En el Africa se han explotado esmeraldas con calidad de gema en Zambia, Madagascar, Tanzania, Simbawe y Suráfrica, tanto en diques pegmatíticos como en venas hidrotermales encajadas en rocas metamórficas principalmente esquistos y neises.

En Europa se han reportado manifestaciones, en venas, de mala cali-

dad en Austria y Noruega. Estas esmeraldas lo mismo que las reportadas de Norteamérica no alcanzan categoría de gema.

Ultimamente han adquirido alguna importancia las esmeraldas de Paquistán y Afganistán. Las esmeraldas del Continente Australiano son de gran aceptación en los mercados mundiales.

En Suramérica, además de la producción colombiana, se conocen depósitos de interés en el Brasil con explotaciones en Socotá, Itabira, Carniba, Santa Terezinba y Parangatú, los cuales se presentan en venas con carbonatos encajadas en esquistos micáceos.

RESERVAS

Teniendo en cuenta el carácter mismo de las mineralizaciones hasta hoy conocidas, además de las pocas investigaciones realizadas al respecto y como consecuencia del bajo nivel de conocimiento científico, es imposible por ahora contar con datos confiables sobre reservas de estas gemas.

PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES

La esmeralda así como otras piedras preciosas se conocen por el hombre, por lo menos desde hace 7000 años y en la antigüedad pertenecían exclusivamente a las clases pudientes y eran al mismo tiempo un símbolo de nivel social. Desde la época precolombina la esmeralda había sido empleada por los indios, utilizándola como elemento de compra, trueque, ofrenda, tributo o simplemente como adorno personal.

Hoy en día se utiliza básicamente para propósitos decorativos en joyería, coronas, ornamentos religiosos, objetos de arte. Sin embargo, por su belleza, durabilidad y rareza en los últimos tiempos se ha convertido en inversión de capital. Los grandes valores en forma de esmeraldas se han mostrado estables a lo largo del tiempo.

NIVEL NACIONAL

La historia de la esmeralda a nivel mundial, se remonta a más de 7000 años en Babilonia y era considerada como gema valiosa, pues era ofrecida de manera especial a los dioses y a los reyes.

En Colombia se explotan desde épocas precolombinas y se comercializaba bajo la modalidad de trueque, comercio que se extendió hasta los imperios Inca y Azteca. Sin embargo, no existe registro histórico sobre la época del descubrimiento de los yacimientos. Los conquistadores españoles, obtuvieron donaciones de esmeraldas o las tomaban al vencer y dominar a las comunidades indígenas pero no hallaron los yacimientos.

En 1544 Luis Alfonso de Lugo, organizó la primera expedición a Muzo y en 1545 el Capitán Diego Martínez exploró los cerros de Fura y Tena y en la Quebrada Itoco colectó esmeraldas pero tampoco localizó los yacimientos.

Pedro Fernández de Valenzuela en 1555 inició la primera explotación española de Chivor utilizando indios. En 1565 Alfonso Ramírez Gasco

Manchego se acredita como descubridor de la mina de Muzo, cuya explotación formal comenzó en 1568 por parte de los españoles. Entre 1646 y 1650 se explotan las minas de Coscuez, las cuales fueron cerradas debido a que un deslizamiento sepultó 300 indígenas.

En 1824 se celebra el primer contrato entre el Ministerio de Hacienda y el señor Mariano Rivera con pago del 10% de la producción como contraprestación. Entre 1825 y 1848 José Ignacio París, amigo del Libertador, consigue los derechos de explotación con contraprestaciones acordadas en un 5%. En ese mismo período don Joaquín Acosta colecta un mineral hasta ahora desconocido el cual llamaron "parisita" en honor al operador de las minas.

A partir de ese momento comienza, a través de los años, a perfeccionarse la legislación minera nacional y las minas son operadas por españoles, franceses, ingleses y colombianos o directamente por el Estado, con resultados variables y prolongados cierres. En 1947 el Gobierno entrega las minas de Muzo, Coscuez y Peñas Blancas al Banco de la República, por un período de 20 años.

En 1968, ante las dificultades que enfrenta el Banco de la República para el manejo de las esmeraldas, especialmente por problemas de orden público y constantes saqueos, el Gobierno creó por Decreto 912 del 8 de junio la "Empresa Colombiana de Esmeraldas", la cual en diciembre del mismo año pasó a llamarse "Empresa Colombiana de Minas"- ECO-

MINAS. Entre 1970 Y 1973, ECOMINAS realiza operaciones mineras pero ante los graves problemas de invasión y saqueo las minas son ocupadas por las fuerzas militares y ECOMINAS abre licitación para adjudicar las minas de Muzo y Coscuez (Reserva Especial) a particulares.

El Decreto 1275 de 1970 reglamentó la Ley 20 de 1969 y estableció el régimen de Aporte para la exploración y explotación de esmeraldas fuera de la Zona de Reserva Especial de Muzo y Coscuez, bajo la dirección de ECOMINAS, hoy MINERALCO S.A.

A partir de 1986, ECOMINAS comienza una activa etapa de contratación para diferentes áreas. Con la creación de la Empresa Minerales de Colombia S.A.-MINERALCO S.A., Sociedad Anónima del Estado que reemplazó a ECOMINAS, según la Ley 2a. de 1990 y Decretos reglamentarios 1376 y 1377 de junio 29 del mismo año, se pretende fijar políticas que permitan una explotación y explotación racional de los yacimientos de esmeraldas.

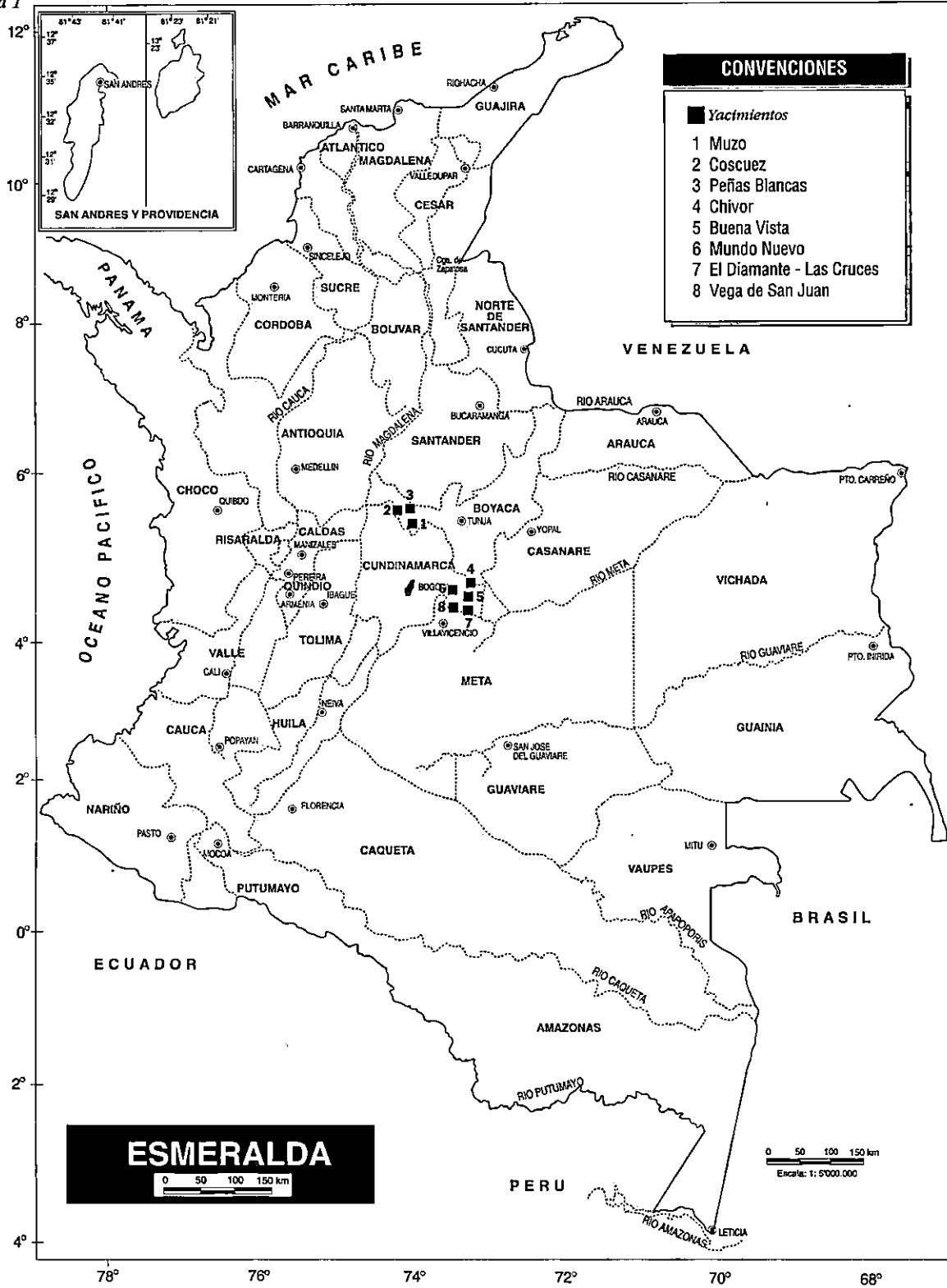
Aspectos Geológico-Mineros

Las mineralizaciones de esmeraldas conocidas hasta hoy en Colombia (Figura 1) conforman lo que se ha denominado "cinturones esmeraldíferos en la Cordillera Oriental y están ubicados de manera paralela sobre los dos flancos de la misma.

Cinturón Esmeraldífero Occidental incluye los distritos mineros de Muzo, Quípama, Coscuez, Peñas Blancas, dentro de la Zona de Reserva Na-

LOCALIZACION DE YACIMIENTOS DE ESMERALDAS

Figura 1



cional y el Distrito de Yacopí en el Aporte No. 1226 de MINERALCO S.A.

Los tres primeros están encajados en la Formación Paja (Cretácico Inferior) constituido por un grueso paquete de shales negros o lutitas finamente laminadas carbonosas, con intercalaciones de lutitas más silíceas.

Las mineralizaciones se encuentran en dos estructuras características: en brechas, en venas y venillas. Las brechas están constituidas por fragmentos de lutitas negras cementadas por calcita, cuarzo y pirita principalmente. En algunas cavidades dentro de la calcita se puede observar una segunda generación de calcita.

Las venas y venillas varían entre 1 y 30 cm de espesor, generalmente se encuentran cortando la estratificación (aunque ocasionalmente lo hacen en forma paralela) y están compuestas principalmente de calcita y pirita con cuarzo, esmeraldas, fluorita y raras veces parisita ($\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})_2(\text{Co}_3)_3\text{F}_2$) y codazzita (dolomita con Ce).

El depósito de Peñas Blancas está encajado en la Formación Rosablanca eminentemente calcárea (Cretácico Inferior) y sus características litológicas estructurales y mineralógicas son en términos generales las mismas, exceptuando tal vez la ausencia de calcita II.

Las mineralizaciones de Yacopí se encuentran dentro del Grupo Villeta (Cretácico) compuesto por intercalaciones de lutitas negras carbonosas, lutitas negras silíceas, arcillolitas y limolitas.

En todos los casos las mineralizaciones de esmeraldas del Cinturón Occidental están asociadas a fallamientos de tipo regional de dirección N 20-40° E en su intersección con fallas menores de rumbo N 50-70° W.

Cinturón Esmeraldífero Oriental está ubicado sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental y comprende los distritos mineros de Chivor (Minas de Gualí, Chivor, Buenavista, Mundo Nuevo) y Gachalá (Minas de la Vega de San Juan, Las Cruces, El Diamante, El Toro), en el Aporte No. 1228 de MINERALCO S.A.

Las minas de Chivor están encajadas dentro de la Formación Lutitas de Macanal, (Grupo Cáqueza) de edad Cretácico Inferior, las cuales litológicamente corresponden a un grueso paquete de lutitas negras carbonosas con delgadas intercalaciones de calizas, limolitas, areniscas de grano fino y bolsones de yeso.

Hacia el sur los sitios mineralizados se encuentran encajados en la Formación Caliza de Guavio (Cretácico Inferior) la cual consta de dolomitas negras, laminadas, muy finas con intercalaciones de bancos gruesos de calizas.

El modelo tectónico de esta parte de la Cordillera Oriental es el resultado de la superposición de varios eventos regionales que se manifiestan en un grupo de fallas regionales inversas de rumbo N 25-35° E, afectadas por otras más recientes de rumbo NW-SE y E-W.

Se ha demostrado que existe una relación directa entre los fallamientos

regionales y sus intersecciones transversales con las mineralizaciones de esmeraldas, existiendo un claro control tectónico que ha preparado los conductos para la circulación de fluidos hidrotermales.

Las mineralizaciones en el distrito minero de Gachalá se presentan generalmente relacionadas a zonas de brecha con fragmentos angulares de lodolitas grises y negras con una matriz de calcita, feldespato, cuarzo y pirita. También se presentan venas compuestas esencialmente por plagioclasa, cuarzo y pirita.

TIPOS DE DEPOSITO

Las principales mineralizaciones de esmeraldas es el mundo ocurren en pegmatitas de profundidad intermedia y venas hidrotermales. De menor importancia las que se encuentran en reemplazamientos de tobas de bertrandita y depósitos de skarn.

No obstante los pocos trabajos detallados y sistemáticos que se han realizado tendientes a profundizar sobre el origen de las esmeraldas colombianas, se establecen dos tendencias claramente definidas sobre su origen proponiendo fenómenos singenéticos o epigenéticos.

Los primeros, entre los cuales se cuenta Naciones Unidas (1975) y Medina L. F. (1970) proponen una preconcentración de berilio en los estratos del Cretácico Inferior, principalmente en las lutitas carbonosas y su posterior removilización por acción de fluidos hidrotermales de origen sinsedimentario (aguas conatas).

Un segundo grupo entre los cuales están Scheibe (1933), Oppenheim (1948), Restrepo (1959), Beus y Mineev (1972), Escobar (1975) y Hall et al, (1976) considera un origen epigenético con aporte de berilio por soluciones de naturaleza pegmatítica o de tipo hidrotermal.

Dos metalotectos se han definido al considerar la génesis de las esmeraldas colombianas:

- El estilo tectónico de la Cordillera Oriental que ha permitido un control estructural de los yacimientos por fallas principalmente inversas de dirección NE-SW, que han servido de conductos para la circulación de fluidos hidrotermales.
- El control litológico de las mineralizaciones y el papel que desempeñan las formaciones de areniscas y lutitas en el desarrollo y propagación de esos conductos hidrotermales por un mecanismo de fracturación hidráulica (Giuliani G. et al, 1990). Los shales juegan un papel de niveles impermeables que permiten la acumulación de fluidos pero también de roca almacenadora rica en Cr, V, Fe, Al, Si, elementos que en diversas proporciones están incorporados en la estructura de la esmeralda.

Con respecto al Be, se debe tener en cuenta un origen sedimentario ya que su concentración en las lutitas carbonosas es de 3-5 ppm (Escobar, 1975) y teniendo en cuenta las cantidades de Be contenidas en las estructuras del berilo (14% BeO) así como las cantidades de berilo obtenidas de las forma-

ciones mineralizadas (1 quilate/m³), parece que estas concentraciones son suficientes para la precipitación del berilo (Koslowski, et al, 1988, en Giuliani et al., op. cit.). No obstante lo anterior, es importante también tener en cuenta eventuales preconcentraciones de Be en las areniscas y conglomerados de la base de la Formación Calizas del Guavio ya que, durante el Titoniano (Jurásico Superior) la cuenca sedimentaria estuvo alimentada por aportes detríticos provenientes de la zona cratónica oriental (Escobar, 1975).

TIPOS DE MINERÍA

La actividad exploratoria con el objeto de hallar nuevos yacimientos esmeraldíferos, no existe. Todos los esfuerzos se han encaminado al estudio de los depósitos precolombinos y aquellos accidentalmente encontrados por campesinos, labradores, o cazadores, con el fin de reconocer o identificar guías geológicas que permitan establecer una metodología confiable en la prospección de esmeraldas.

Las labores de explotación a tajo abierto y subterráneas se ejecutan paralelamente con una exploración visual en áreas reconocidas como productoras de esmeraldas, siguiendo la orientación de mineros experimentados.

La explotación-exploración a tajo abierto se hace con ayuda de tractores sobre orugas y agua, lo cual permite mantener los frentes de trabajo limpios de estériles y visualizar las posibles zonas o vetas productoras.

En los últimos años, se han adelantado técnicas de minería subterránea

especializada principalmente en la Zona de Reserva Nacional de Muzo y Coscuez, permitiendo una mayor cobertura en la exploración-explotación.

Las explotaciones de esmeraldas a cielo abierto utilizan el agua como lubricante en el arrastre y evacuación de estériles con buldozer desde los frentes de trabajo, siendo éste el método tradicional preferido. El agua es conducida a través de acequias o por bombeo a los sitios de explotación y es almacenada en pequeños embalses o "tambres" de donde se descarga por gravedad directamente a la masa de material a evacuar. Esta actividad produce una sedimentación desproporcionada en las cañadas y quebradas que sirven de vertederos en los frentes de trabajo.

Las aguas negras procedentes de los campamentos mineros y de los asentamientos humanos cercanos a las minas, por lo general fluyen directamente a las cañadas, quebradas o ríos más próximos.

A pesar de los altos niveles de pluviosidad registrados anualmente en las áreas esmeraldíferas, durante las épocas de verano los caudales de las diferentes cuencas y microcuencas se disminuyen ostensiblemente debido a la escasa vegetación nativa, que aún se puede observar, como vestigio del exhuberante medio natural que alguna vez existió.

Estructura de la Industria

Las áreas de explotación de esmeraldas por su cercanía a Santafé de

Bogotá disponen de vías de acceso fácil con una red de carreteras parcialmente pavimentadas y que son utilizadas para transportar la maquinaria y equipos necesarios en las diferentes minas así como los insumos de soporte en las operaciones mineras.

La producción del mineral, en la mayoría de los casos, se transporta por vía aérea utilizando helicópteros para lo cual las minas disponen del respectivo helipuerto. La producción que no se transporta vía aérea es llevada a Santafé de Bogotá en pequeños vehículos, generalmente camperos.

Es de anotar que la producción de esmeraldas tanto de las minas que operan por contratos con MINERALCO S.A. así como la producción de los gaaqueros o explotadores informales, quienes venden directamente en los sitios de producción a comerciantes o intermediarios, fluye totalmente a Santafé de Bogotá.

La franja oriental, Aporte No. 1228 de MINERALCO S.A., utiliza una amplia red de carreteras, mejoradas por la construcción en la región de los embalses de Chivor y Guavio.

Se puede afirmar que la disponibilidad de energía eléctrica para los diferentes frentes mineros, así como las telecomunicaciones con el servicio de las oficinas de Telecom en las cabeceras municipales es satisfactoria.

La red vial del área del Aporte No. 1226 franja occidental de la Cordillera Oriental donde se localiza la zona de Reserva Nacional de Muzo, Coscuez y Peñas Blancas y demás

zonas aledañas consideradas de interés en la mineralización de esmeraldas, es deficiente y necesita reparación, modificación, ampliación, afirmado y mantenimiento, especialmente aquellas carreteras consideradas troncales en la región como son la carretera Chiquinquirá-Curubitos-San Pablo de Borbur-Puerto Boyacá y la carretera Curubitos-Muzo-Quípama-La Victoria-Yacopí.

El Municipio de Quípama en Boyacá cuenta con un pequeño aeropuerto con operación de vuelos comerciales diarios regulares Bogotá-Quípama-Bogotá desde el aeropuerto El Dorado, por empresas como Satena y Aerovuelos. Las compañías mineras utilizan frecuentemente el transporte en helicópteros para el traslado de valores representados en la producción de esmeraldas; manteniendo en sus áreas helipuertos con facilidades de acceso y de combustible.

El servicio de energía en este sector del departamento es deficiente por lo cual, de tiempo atrás, se ha venido solicitando a la Empresa de Energía Eléctrica de Boyacá, el cambio de redes de conducción y la instalación y reparación de transformadores.

Todas las minas se encuentran cerca a poblaciones o núcleos urbanos como son: Muzo, Quípama, Otanche, Maripí y Pauna en la franja occidental; Chivor, Macanal, Gachalá, Ubalá, Santa Rosa y Almeida en la franja oriental. Santafé de Bogotá se encuentra a siete horas, por carretera, de la mina de esmeraldas más apartada, en las actuales condiciones de la red vial.

La exploración y explotación de esmeraldas se adelanta en el país bajo el sistema de Contratos de Operación generalmente a cinco (5) años prorrogables, de MINERALCO S.A. con el

Tabla 1
CONTRATOS DE OPERACION PARA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE ESMERALDAS
(VIGENTES A FEBRERO DE 1992)

OPERADOR	MINA	HECTAREAS
Tecminas Ltda.	Quípama	85,2
Coexminas Ltda.	Muzo- Los Naranjos	131,8424
Esmeralcol	Coscuez	73,0
Roberto Solís	Las Playas	25,0
Cundi-Boyacá Ltda.	San Marcos	42,4
Julio Carranza	Diamante	50,0
Julio Carranza	El Gualí	28,5625
Víctor Quintero	Las Cruces	50,0
Víctor Quintero	La Vega de San Juan	49,0
Víctor Quintero	Buenavista	41,2188
Cia. Verde Mar Ltda.	Oriente	25,0
Jorge Montenegro	San Francisco	49,0
Luis Rodríguez	Sagrada Familia	35,0
Marcos García	Polveros	28,2
José Fabio Urrego	La Glorieta	50,0
José Fabio Urrego	Yacopi	42,0
Ananías Garzón	Miralindo	34,0
Cia. Minera Peña Azul	Pauna	25,0
Remover Ltda.	San Martín	47,5
TOTAL		911,9237

Fuente: MINERALCO S.A. 1992

sector privado. En la tabla 1 se pueden observar los contratos de operación vigentes a febrero 1992.

Las obligaciones pactadas en los contratos llamados de operación se pueden resumir así:

- Pago de contraprestaciones económicas de acuerdo con el número de hectáreas contratadas con destino a MINERALCO S.A. y las jurisdicciones municipales donde se adelanta la actividad minera, siguiendo las regulaciones del Código de Minas.
- Presentación de informes técnicos de acuerdo con los requerimientos del Ministerio de Minas y Energía.
- Declaratoria de Impacto Ambiental o Estudio de Impacto Ambiental siguiendo las indicaciones del Ministerio de Minas y Energía.

Las contraprestaciones económicas a que se obligan los operadores de los contratos están clasificadas en categorías A, B y C para indicar su localización en la Zona de Reserva Nacional, Zona de Chivor u otras áreas.

La producción total estimada, de esmeraldas en el mundo, es de doce millones (12'000.000) de quilates, la cual se distribuye de la siguiente manera:

1. COLOMBIA	50%
2. ZAMBIA	20%
3. BRASIL	12%
4. MADAGASCAR	5%
5. CEI	5%
6. ZIMBAWE	3%
7. OTROS (Paquistán, Afganistán, Australia, Tanzania)	5%

Las esmeraldas de Austria y Estados Unidos se han conocido a nivel de muestra mineralógica, pero sin valor comercial.

En cuanto a calidades, de acuerdo al grado de aceptación y precios en el mercado internacional, se puede establecer la siguiente categorización:

1. COLOMBIA
2. AFGANISTAN
3. ZAMBIA
4. CEI

No toda la producción de esmeraldas de Colombia proviene de la explotación de las minas contratadas con MINERALCO S.A. Existe un sector de minería bastante grande, consistente en los "quebraderos" o "guaqueros" dedicados principalmente a lavar los desechos estériles provenientes del laboreo mecanizado de las minas.

Esta labor permite la recuperación de material esmeraldífero que no ha sido detectado en los frentes de explotación y ha sido arrojado a los caños o quebradas para su evacuación. Trabajos subterráneos de "guaquería" con producciones significativas se encuentran en las zonas esmeraldíferas, especialmente en Coscuez.

La producción de esmeraldas en bruto que no se exporta, se somete a beneficio para su uso y portabilidad, en los talleres de corte y talla y en los laboratorios de tratamiento, localizados en Santafé de Bogotá, que mejoran su aspecto con aceites.

Los talleres de corte y talla, en su mayoría, no ofrecen garantía de un trabajo satisfactorio en la lapidación de

la esmeralda por la falta de diseño o desconocimiento gemológico del producto.

Los laboratorios de tratamiento someten las piedras talladas a relleno de las fisuras o grietas con aceites, tratamientos que son aceptados en el comercio internacional, siempre y cuando cumplan con las normas establecidas. Sin embargo, la esmeralda colombiana se ha venido tratando con sustancias sintéticas, a presiones y temperaturas no aprobadas, que permiten un mejoramiento ostensible inmediato a la gema, pero que en corto tiempo se deteriora y pierde totalmente su apariencia óptica y física.

Características del Mercado

OFERTA-DEMANDA Y PRECIOS

La oferta y demanda de esmeraldas es una actividad libre y legalizada en el país, desarrollada casi totalmente en Santafé de Bogotá y de ella dependen un sinnúmero de personas naturales y jurídicas como comerciantes, talladores y comisionistas; joyerías, laboratorios de gemología, laboratorios de tratamiento, casas comercializadoras y exportadores. Se estima en 100.000 las personas que en Santafé de Bogotá dependen económicamente de la industria de esmeraldas.

Como consecuencia del monopolio que ejerció el Estado colombiano hasta hace unos años en la explotación y comercialización de las esmeraldas y las características tan particulares como surgió el mercado libre, las condiciones de marginalidad con respecto al resto de las actividades nor-

males que tienen otros bienes e insumos en el país, aún persisten.

Con la reciente creación de la Federación Nacional de Esmeraldas de Colombia, conformada por productores, comerciantes, joyeros, exportadores y MINERALCO S.A., y cuyo objetivo principal es la defensa y promoción de la industria de esmeraldas, el comercio se verá ampliamente beneficiado.

Los precios de las esmeraldas en bruto, talladas o engastadas son subjetivos y sus límites están determinados por la libre oferta y demanda, con alguna influencia en su precio, el origen y propiedad de las gemas.

La compra de esmeraldas en bruto, que define parcialmente el valor final del producto, es la parte de mayor riesgo en este comercio, debido al difícil cálculo que debe realizar el comprador, sobre lo que espera recuperar después de las operaciones de corte y talla.

La calidad de las esmeraldas depende de las características inherentes a las gemas y determina su precio y comerciabilidad. No existe actualmente una tipificación o caracterización científica de la esmeralda colombiana de acuerdo con los yacimientos o depósitos. No obstante, la experiencia de los productores, comerciantes y talladores permite su reconocimiento con relativa facilidad.

A continuación se describen las calidades más representativas de las esmeraldas de las diferentes áreas de producción:

■ **Esmeralda de Muzo.** Presenta un color verde hierba profundo y buena transparencia por la poca presencia de jardines e inclusiones.

■ **Esmeralda de Chivor.** Su color es generalmente azulado muy característico de estos yacimientos. La diafanidad de algunas de ellas es excelente y en otras se presentan inclusiones y microfracturas, fisuras y cavidades, difíciles de disimular.

■ **Esmeralda de Coscuez.** Buen color y brillo, tenues jardines e inclusiones. Presenta un verde amarillento típico, denominado "Cebo lludo de Coscuez".

■ **Esmeralda de Gachalá.** Se caracteriza por su diafanidad o transparencia y brillo o vida, debido a la ausencia de impurezas o fracturas reconocibles o simplemente vista. El color es generalmente verde pálido.

Las casas comercializadoras nacionales y extranjeras, oficinas de comerciantes y talleres de lapidación, están localizados en su mayoría en el centro de Santafé de Bogotá.

Las casas comercializadoras, manejadas principalmente por japoneses, mantienen un número regular de compradores durante todo el año, compradores por lo general extranjeros y preferencialmente japoneses, a los cuales les cobran comisión de servicios por asesoría en la compra, información sobre disponibilidad de lotes y calidades, manejo de cartas de crédito y trámites de exportación.

Actualmente se producen en esmeral-

das sintéticas, con un alto grado de similitud con la esmeralda natural. Son famosas las esmeraldas producidas en San Francisco, California (Estados Unidos) en sus laboratorios de John Chathan, en Biron International Australia y en algunos laboratorios en Japón, Alemania y la CEI quienes producen esmeraldas sintéticas de excelente apariencia. La producción de esmeraldas sintéticas es reducida; a medida que se mejoren o se apliquen nuevas técnicas podría originarse un mayor volumen de estos productos, ampliando su participación en el mercado.

La esmeralda colombiana es un producto de exportación por excelencia. El consumo nacional es mínimo y se reduce a joyería con pedrería de baja calidad y pocos quilates.

Los factores que influyen en el bajo consumo nacional se deben principalmente a la falta de poder adquisitivo de la inmensa mayoría del pueblo colombiano y a los conflictos sociales de violencia generados por la explotación de esmeraldas en el pasado, que se ha traducido en desinterés por parte de potenciales compradores nacionales. Los diamantes y corindones importados tienen mayor preferencia en la clase pudiente colombiana.

El crecimiento en la exportación de esmeraldas ha sido notorio en los últimos años tal como lo muestran los registros de MINERALCO S.A. En la tabla 2 se observa la evolución progresiva de las mismas entre 1985 y 1992. Aunque no se conocen estadísticas confiables en el mercado mundial de esmeraldas, se es-

tima que Colombia participa con un 45% del valor total, seguido de Zambia y Brasil con un 15% cada uno. Zimbawe posiblemente tiene una participación del 10% en el total del mercado mundial y Pakistán el 5%. Otros países como Australia, la CEI, Tanzania, Madagascar y Afganistán con pequeñas producciones, participan en conjunto, del 10% estimado del mercado mundial.

Con respecto al destino de las esmeraldas colombianas, Japón ocupa el primer lugar con más del 54%, seguido de Estados Unidos con el 24,2%. Panamá, Antillas Holandesas y Hong Kong reciben el 12,8% de nuestras exportaciones. En la tabla 3 se presenta con detalle la información registrada al respecto.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAIS

Las siguientes acciones y estrategias en defensa y promoción de la industria de las esmeraldas se consideran básicas para el crecimiento y desarrollo del sector.

Nivel Minero

El actual modelo de contratación de los derechos mineros para esmeraldas está restringido a un sistema tarifario de contraprestaciones económicas que no permite la búsqueda de nuevos yacimientos o el desarrollo de prospectos mineros. El sector privado se limita a contratar depósitos conocidos que permiten un lucro casi inmediato y disponibilidad de pago de

Tabla 2
EXPORTACION DE ESMERALDAS

AÑO	QUILATES	VALOR (US\$)
1985	328.370	27.007.709
1986	504.911	36.272.993
1987	886.618	62.458.668
1988	1.905.650	93.220.103
1989	3.417.511	107.810.971
1990	1.780.731	116.751.440
1991	1.093.665	148.246.298
1992 (*)	2.313.033	186.524.890

(*) A Julio 1992
Fuente: Minerales de Colombia S.A. 1991.

las contraprestaciones pactadas. Los Aportes No. 1226 (Villeta-Muzo) y No. 1228 (Chivor-Guavio), comprenden dos regiones que por sus características geológicas y la presencia recono-

cida de yacimientos esmeraldíferos, son consideradas de alta probabilidad en la ocurrencia de esmeraldas. Sin embargo, de un total de 730 mil hectáreas que cubre la Zona de Reserva

Tabla 3
EXPORTACION DE ESMERALDAS SEGUN PAIS DE DESTINO

PAIS	US\$
Japón	80.169.282
Estados Unidos	35.820.481
Panamá	8.232.911
Suiza	6.835.606
Hong Kong	3.735.537
Bélgica	2.896.152
Antillas Holandesas	2.294.598
Israel	1.734.121
Tailandia	1.661.357
Italia	1.149.028
España	1.014.819
Alemania	728.887
Francia	623.501
Costa Rica	222.423
Suecia	210.099
Venezuela	198.636
Australia	189.864
Korea	170.357
Canadá	124.019
México	88.877
Singapur	79.635
Holanda	21.200
Cuba	17.679
Emiratos Arabes	12.212
Australia	11.783
Antillas Francesas	2.194
Nueva Zelandia	1.040
TOTAL	148.246.298

Fuente: Minerales de Colombia S.A. 1991

Nacional de Muzo y Coscuez y los Aportes 1226 y 1228, solamente 912 hectáreas estaban contratadas para exploración y explotación de esmeraldas hasta octubre 1992.

Los estudios sobre esmeraldas se han restringido a los yacimientos existentes con prelación a la zona de reserva Nacional de Muzo y Coscuez. Se propone que los contratos de operación se sometan a un cambio con el objeto de buscar una exploración adecuada y una explotación racional de los yacimientos existentes y aquellos que sean descubiertos en el futuro, tal como se describe a continuación.

En los contratos con período de exploración, MINERALCO S.A. se obliga a adelantar los trabajos exploratorios junto con el contratista u operador quien tendrá a su cargo los gastos que ocasione el programa de exploración previamente establecido entre las partes. El período de exploración no podrá ser menor a seis (6) meses ni mayor a dos (2) años.

Se entiende por montaje, todas las actividades y obras necesarias que se ejecuten con el fin de obtener facilidades de infraestructura necesarias para iniciar la actividad de explotación en una mina. Los contratos en lo sucesivo especificarán un período de montaje que no puede ser menor a tres (3) meses ni mayor a un (1) año.

El período de explotación-exploración obedece a un planeamiento minero aprobado por MINERALCO S.A., tendrá una duración mínima de diez (10) años prorrogables hasta treinta (30) como máximo. Durante

este período se obliga el operador al pago de contraprestaciones económicas primarias, de acuerdo con la extensión superficial contratada, ciñéndose a los canones establecidos por MINERALCO S.A.

Se entiende que las minas con actividad extractiva antes de la suscripción de los respectivos contratos, o aquellos contratos prorrogados o renovados que indiquen continuidad, no tendrán los períodos de exploración y montaje mencionados anteriormente.

Las contraprestaciones económicas primarias serán únicamente de tal magnitud, que permitan desarrollar trabajos de exploración en los Aportes de esmeraldas de MINERALCO S.A. y llevar el control de las explotaciones contratadas. Bajo esta consideración estas contraprestaciones primarias, serán ostensiblemente bajas.

La explotación y aprovechamiento de los depósitos esmeraldíferos dentro de una política global de desarrollo y al mismo tiempo de conservación del Medio Ambiente, debe analizarse con el concurso de una serie de factores que coadyuven a la obtención de esos objetivos y que permita la gestión minera con una visión racional.

La mayor parte de las actividades que desarrolla el hombre son en mayor o menor medida, agresivas para la naturaleza. En las explotaciones esmeraldíferas es evidente esta agresión, requiriéndose acciones inmediatas de control y programas de restauración tanto en las áreas de actividad

minera como en sus zonas de influencia. Coscuez y Muzo merecen especial atención.

MINERALCO S.A. junto con los operadores de áreas esmeraldíferas debe ejecutar programas de conservación del Medio Ambiente para minimizar los efectos negativos de la actividad minera y facilitar el mejoramiento, tanto del entorno físico, como de la calidad de vida de sus habitantes.

Nivel Industrial

Los procesos de corte, lapidación y tratamiento para obtener el producto final en la esmeralda, requieren de un análisis profundo para evitar que las gemas colombianas talladas pierdan interés en los mercados externos.

Las técnicas de tallado en Colombia son deficientes. Se sabe que la esmeralda colombiana se retalla en el exterior mejorando su aspecto notablemente. El proceso de tratamiento que falsea las características ópticas de las esmeraldas ha venido creando desconfianza en el producto.

MINERALCO S.A. como ente regulador del Estado en el manejo del recurso esmeralda debe impulsar a través del gremio, el estudio y conocimiento de técnicas de talla que permitan corregir las deficiencias de faceteo y pulimento con la utilización de técnicas de alta precisión. La exportación de material en bruto cada día es mayor como consecuencia de las imperfecciones del material tallado para corregir los usos indebidos de aceites en los tratamientos de esmeraldas se requiere como acción futu-

ra, reglamentar procedimientos acorde con las normas internacionales. El mercado de esmeraldas es ejercido en parte por comisionistas que deambulan en el centro de la ciudad en busca de compradores, los cuales en muchos casos, adquieren el producto para su venta en comisión o reventa.

Las casas comercializadoras extranjeras actúan como comisionistas que compran esmeraldas para un distribuidor en su país de origen. Las exportaciones directas que hacen los productores son muy escasas, aunque importantes por su volumen y calidad. La presencia de la esmeralda colombiana en las Ferias y Exhibiciones internacionales de piedras preciosas es muy tímida, apenas se nota el esfuerzo de unos pocos en mostrar nuestro producto.

Las acciones y estrategias para el fortalecimiento del mercado de esmeraldas como producto básico de exportación deben estar enfocadas hacia la creación de la bolsa de Piedras Preciosas donde la comercialización de las esmeraldas permita tener:

- Confiabilidad del producto.
- Transparencia en las transacciones.
- Créditos.
- Asesoría técnica y comercial.

RECOMENDACIONES

- Continuar con programas de exploración geológica con el fin de

obtener guías adecuadas en la prospección de nuevos yacimientos. Debe impulsarse el conocimiento sobre la génesis de los yacimientos esmeraldíferos colombianos con la ejecución total del programa ORSTON y CNRS/CRPG de Francia y MINERALCO S.A., que permitirá definir en una forma más técnica la potencialidad de mineralización esmeraldífera en las áreas actualmente consideradas con ambientes geológicos favorables

- Establecimiento de escuelas de capacitación gemológica y lapidación. Uno de los tropiezos en el desarrollo de esta industria es la falta de conocimiento gemológico de las piedras preciosas y por ende de las esmeraldas, así como la capacitación técnica de expertos lapidadores y talladores.

Los mercados internacionales prefieren cada día más el material en bruto para ser tallado y engastado en el exterior causando efectos negativos en el desarrollo de la industria en Colombia.

- Investigación de los tratamientos con aceites de la esmeralda colombiana y establecimiento de normas técnicas para dichos tratamientos.

Actualmente las esmeraldas de regular y baja calidad son sometidas a tratamientos de laboratorio en aceites sintéticos para mejorar su aspecto externo.

La práctica de estos tratamientos ha dado como resultado daños que en muchos casos son irreversibles toda vez que en el transcurso de 1 ó 2 meses la esmeralda tratada pierde su aspecto y deja en manos del propietario u observador una gema deteriorada sin probabilidades de obtener nuevamente su aspecto natural.

Las consecuencias de no realizar estudios en los tratamientos de la esmeralda y restringir el uso indebido de aceites estableciendo una normatividad en el tratamiento, causará la pérdida del mercado internacional del 80% del producto que actualmente se comercializa.

- Estudio de producción de esmeralda sintética a partir de la morralla.

Las minas colombianas producen una gran cantidad de morralla o esmeralda de baja calidad con buenos tamaños y color, que se exporta en bruto.

La esmeralda sintética producida en Estados Unidos, Europa, Japón y Australia cada día gana más adeptos en los mercados. Colombia puede convertirse en un productor importante de esmeralda sintética teniendo como base la morralla.

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Contratos de Operación para Explotación y Exploración de Esmeraldas.

TABLA 2. Exportación de Esmeraldas.

TABLA 3. Exportación de Esmeraldas según País de Destino.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Localización de Yacimientos de Esmeraldas.

BIBLIOGRAFÍA

BEUS, A y MINEEV, B.A., 1972. Some Geological and Geochemical Features of the Muzo-Coscuez Emerald Zone, Cordillera Oriental, Colombia. United Nations Internal Report. ECOMINAS. Bogotá. 47 p.

BUERGL, H. 1955. Condiciones Geológicas de las Minas de Esmeraldas de Muzo, Departamento de Boyacá, Serv. Geol. Nal. 19 p.

DURAN, J.A., 1981. Estudio para la Creación de la Bolsa de Piedras Preciosas y Semipreciosas. ECOMINAS. Bogotá, 83 pp.

ESCOVAR, R., 1975. Geología y Geoquímica de las Minas de Esmeraldas de Gachalá, Cundinamarca. INGEOMINAS. Inf. No. 1684, 41 p.

FLOREZ A., 1987. Diagnóstico de la Industria de las Esmeraldas en Colombia. ECOMINAS. Bogotá.

GEOCOLOMBIA, 1971. Comentarios al Mapa Geológico de la Zona Minera de Reserva Nacional de Muzo y Coscuez, Departamento de Boyacá, ECOMINAS. Bogotá.

GUERRA, A. 1972. Estudios Geológicos de las Calizas del Guavio, Municipios de Ubalá y Gachalá, Cundinamarca. INGEOMINAS. Inf. 1615.

HALL, M., et al, 1976. Mineralogía y Geoquímica de las Vetas Esmeraldíferas de Muzo, Departamento de Boyacá, con Implicaciones en la Prospección Futura de Esmeraldas en Otras Partes de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá.

IEC-INTEGRAL, 1984. Estudio para la Formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero Esmeraldas, 1985.

INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia. Segunda Ed. Tomo II. Esmeraldas, p.567-600. Bogotá.

LLERAS CODAZZI, R. 1929. Notas Adicionales sobre los Minerales y las Rocas de Colombia. Biblioteca del Museo Nacional, 52 p. 16 figuras. Bogotá.

McLAUGHIN, D. y ARCE M., 1971. Recursos Minerales de Parte de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta. Boletín Geológico, INGEOMINAS, Vol. XIX No. 1. Bogotá.

MARIÑO, J.A., 1976. Ocurrencias Minerales en el Departamento de Boyacá. Compilación. Informe 1710. INGEOMINAS. Bogotá.

MINERALCO S.A., 1991. "Solicitudes de Contratos para Esmeraldas" Subgerencia Técnica. Departamento de Geología.

MEDINA L.F. 1970. Consideraciones sobre la Génesis de los Yacimientos Esmeraldíferos de los Alrededores de Muzo (Colombia, Sudamérica), ECOMINAS, 13 p.

MUÑOZ V., RUEDA, F. 1981. Inspección Ocular al Area de Gachalá y Ubalá, ECOMINAS, Bogotá

NACIONES UNIDAS, 1975. Proyecto de Esmeraldas. Informe Técnico Final, 71 p. (Informe INGEOMINAS No. 1683), Bogotá.

RESTREPO S., JUAN CAMILO. 1992. Memorias al Congreso Nacional 1991-1992, tomo II. Ministerio de Minas y Energía.

RUEDA F., MUÑOZ V., 1981. Inspección Ocular de la Zona Minera de Muzo. ECONOMINAS, Bogotá.

SCHEIBE, R. 1934. Informe Geológico sobre las Minas de Esmeraldas de Muzo. Comp. Est. Geol. Of. Tomo I. Imprenta Nacional Bogotá p. 169-198.

Minerales

Estratégicos

para el desarrollo

de Colombia

MEDC

G

RUPO 2

ALUMINIO Y

METALES BASICOS

ALUMINIO

COBRE

ZINC

PLOMO

Introducción

Aproximadamente las tres cuartas partes de los elementos químicos son metálicos, sin embargo, no todos poseen las propiedades físico-químicas requeridas en las aplicaciones industriales y su empleo es reducido.

El Aluminio y los Metales Básicos, Cobre, Zinc y Plomo, analizados a continuación poseen propiedades físicas especiales tales como la densidad, dureza, maleabilidad, ductibilidad, tenacidad y conductibilidad, que amplían las posibilidades de uso en el campo industrial. Este grupo de metales presenta además, propiedades químicas particulares donde se destaca la capacidad de combinarse entre sí o con otros metales formando aleaciones cuyas características modificadas amplían aún más su empleo, ya que éstas vienen a ser para la industria nuevos metales dotados de propiedades diferentes a la de los elementos que los componen. Son en general más duras y más tenaces que

los metales constituyentes, pero a menudo menos maleables y menos dúctiles.

Las aleaciones resisten mejor la acción del aire y de los agentes químicos; aquellas que tienen bajo punto de fusión, con alto contenido de Plomo, sirven de seguridad en las instalaciones eléctricas y como obturadores de seguridad en los rociadores y válvulas automáticas.

El aluminio metálico tiene aplicabilidad en todos los sectores de la economía, es el más usado después del hierro en las áreas del transporte, construcción, empaques y maquinaria en general.


Las principales aplicaciones del Cobre están orientadas hacia las industrias eléctrica, de las construcción y del transporte; para la ingeniería en general en la elaboración de plantas y equipos térmicos y para otros productos de la industria química,

como sales de cobre (sulfato y oxiclورو).

La principal aplicación del Zinc está dirigida hacia la galvanización, con el fin de producir revestimientos protectores de los productos de hierro y acero con destino a la industria automotriz y de la construcción.

Otras aplicaciones importantes constituyen la fabricación de latón, laminados de Zinc, piezas moldeadas con metal fundido a presión dentro de moldes metálicos y en la industria química.

Más del 50% de la producción mundial de Plomo se utiliza en la fabricación de acumuladores o baterías, en la industria de la construcción, en la fabricación de productos químicos y como antidetonante en la gasolina. Su consumo en los últimos años ha tenido restricciones, ocasionadas por los efectos ambientales que produce debido a su elevada toxicidad.





ALUMINIO

Humberto Rosas ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

La mayor parte del aluminio se obtiene de la bauxita que es un compuesto mineral formado por hidróxido de aluminio e impurezas. La bauxita se forma por meteorización química en superficies de erosión y por consiguiente forma parte del grupo de las lateritas. En Colombia, los únicos yacimientos significativos que se conocen se encuentran en el valle alto del Río Cauca, en los departamentos de Cauca y Valle.

Las reservas mundiales de bauxita son de 25 mil millones de toneladas, la mayor parte de las cuales se encuentra en Guinea (6.500 millones/t), Australia (4.500 millones/t), Brasil (2.500 millones/t) y Jamaica (2.000 millones/t.). Colombia cuenta con una reserva de 400 millones/t. de arcilla bauxítica, de la cual pueden obtenerse por lavado 100 millones de toneladas de bauxita de alto grado. Estas reservas corresponden a los yacimientos del Alto Cauca.

Más de 80% de la producción mundial de bauxita se extrae a cielo abierto. Sólo en Francia y otras partes de Europa incluyendo Rusia, la producción se extrae en su mayor parte subterráneamente. En Colombia, la explotación se realiza por pequeños mineros que extraen el material a cielo abierto, por métodos sencillos dada la naturaleza blanda del mineral (Arcilla Bauxítica).

Estructura de la Industria

De la bauxita (hidróxido aluminico) se obtiene el óxido aluminico (Al_2O_3) o alúmina mediante un tratamiento a base de soda cáustica conocido como proceso Bayer. A partir de la alúmina se produce el aluminio metálico por electrólisis. Aproximadamente el 90% de la producción mundial de bauxita se destina a la obtención de alúmina y de ésta el 90% se utiliza para reducir el aluminio.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

(1) Geólogo, Ingeominas Santafé de Bogotá.

Menores cantidades de bauxita se destinan a la industria de químicos, abrasivos y refractarios.

El aluminio solo o en aleaciones tiene muy variados usos, entre los cuales se destacan sus aplicaciones en la industria del transporte, de la construcción, la industria eléctrica y de comunicaciones, y la fabricación de recipientes y empaques.

En Colombia, la producción de bauxita se destina primordialmente a la obtención de sulfato de alúmina, que a su vez se emplea para purificación de aguas en los acueductos del país.

En Colombia no existe producción primaria de aluminio y por consiguiente éste se obtiene por recuperación secundaria o reciclaje de chatarra, el cual no supera el 20% de las importaciones. Además de la producción secundaria de lingotes, el país produce bienes terminados como perfiles, láminas, tubos, hojalata para empaques, papel aluminio, alambres y piezas fundidas para la industria automotriz.

Características del Mercado

El rápido crecimiento que experimentó la demanda mundial de aluminio en décadas pasadas, principalmente las del 60 y 70, con el consiguiente aumento de precio, se vio disminuido a mediados de la última década, cuando el precio de la alúmina tuvo un fuerte descenso del orden del 45%, y el metal del 31%. Desde entonces, la producción ha continuado creciendo

aunque a un ritmo menor del que se esperaba.

Tal vez el problema más difícil que hoy afrontan los productores es el hecho de que el mercado del aluminio haya adquirido tal grado de madurez que es difícil prever un crecimiento tan acelerado como el experimentado hasta el comienzo de la década de los 80's, a raíz de sus nuevas aplicaciones en la fabricación de envases para bebidas.

Proyecciones

En el momento el panorama económico mundial del aluminio no presenta el alto grado de prosperidad que lo caracterizó en décadas anteriores. Sin embargo, ha venido y continúa compitiendo favorablemente con otros materiales como el cobre, el acero, el estaño, el magnesio y el cuero, la madera, los plásticos y la fibra de vidrio, en razón de algunas características importantes como baja densidad, alta conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la corrosión, no toxicidad, maleabilidad, reflectividad, propiedades no magnéticas y alta resistencia a diversos tipos de esfuerzos.

De otra parte, no se vislumbra a corto plazo el desarrollo de métodos que permitan sustituir el proceso Bayer empleado hoy en la producción de alúmina a partir de bauxita y hagan posible la utilización de materias primas más baratas y abundantes como la arcilla. Antes que la sustitución de bauxita, las empresas productoras de aluminio han logrado más bien reducir las exigencias químicas de la

bauxita, y así utilizar minerales de bajo grado que anteriormente resultaban antieconómicos y antitécnicos.

Perspectivas de Desarrollo en el País

Dada la posición destacada de Venezuela como productor de bauxita, alúmina y aluminio, el país no ofrece perspectivas favoritas de competitividad a corto plazo para la industria primaria del metal; sin embargo, los recientes acuerdos comerciales suscritos entre los gobiernos de Colombia y Venezuela, favorecen las importaciones de productos aluminicos primarios para su transformación en bienes industriales con mayor valor agregado.

En el área de los compuestos químicos de aluminio, la bauxita nacional permite el crecimiento de la industria que existe en el país, orientada principalmente a la producción de sulfato de alúmina. Para estos fines, la bauxita nacional ofrece mejor calidad que la de Venezuela.

En materia de minería, es importante que el Estado conjuntamente con las industrias de transformación del mineral participe en la solución de los diferentes problemas técnicos y económicos que afronta la pequeña minería.

En lo referente al metal, si bien es cierto que el país no ofrece mayores perspectivas para la industria primaria del aluminio, su proximidad al complejo metalúrgico de Venezuela le permite fomentar las industrias de trans-

formación y lograr niveles de competitividad en el mercado de bienes finales e intermedios.

El Estado por su parte, podría adelantar políticas de estímulo a la producción, por vías diferentes de paternalismo nacionalista, premiando la creatividad, el talento, y promoviendo una redistribución más equitativa del ingreso.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico - Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El aluminio es el elemento metálico más abundante de la corteza terrestre y es el principal constituyente de muchos tipos de rocas. En la naturaleza siempre aparece combinado con otros elementos, principalmente formando silicatos. Menos abundantes que éstos son los hidróxidos aluminicos, constituyentes esenciales de la bauxita (principal mena del metal). Tales hidróxidos son: Gibsita $Al(OH)_3$, denominado tipo Trihidrato, Bohemita $AlO(OH)$, denominado tipo Monohidrato alfa, y Diásporo $HAIO_2$, denominado tipo Monohidrato beta, los cuales aparecen mezclados en proporciones muy variables. Por ejemplo, la bauxita de la región mediterránea de Europa está predominantemente formada por bohemita, mientras que en las bauxitas de Norte y Sur América predomina la gibsita. El corindón (Al_2O_3) no se incluye como bauxita aunque pueden existir gradacio-

nes de corindón a bauxita por descomposición química, o de bauxita a corindón por recristalizaciones y pérdida de agua en etapas finales de los procesos diagenéticos.

Las bauxitas se forman por meteorización química de rocas aluminicas, y pertenecen por tanto al grupo de las lateritas. Las condiciones que favorecen la formación de bauxita son: 1)Clima tropical, 2)Lluvias abundantes, 3)Buena permeabilidad, 4)Buen drenaje superficial, 5)Largos períodos de estabilidad tectónica que permitan la lateritización y preservación de la bauxita resultante.

Los factores anteriores determinan que los silicatos aluminicos de la roca original se alteren a silicatos hidratados los cuales, por acción combinada del agua superficial y las bacterias, liberan la sílice y ésta migra en solución produciéndose una concentración de hidróxidos aluminicos.

Los depósitos de bauxita, al ser formados por concentración residual, están asociados con superficies de erosión. De acuerdo con las formas de estas superficies los depósitos pueden presentarse en forma de capas estratificadas o no, como también en lentas ocupando depresiones cavernosas de disolución sobre topografía kárstica o sobre superficies arcillosas irregulares. En algunos casos, la bauxita es erosionada por las aguas y acumulada en otro lugar formando un nuevo depósito transportado.

Comúnmente la bauxita aparece asociada con arcilla la cual representa una etapa intermedia en el proceso de

bauxitización. En este caso, se presenta una gradación de la bauxita a través de la arcilla hasta la roca original.

SITUACION DE LAS RESERVAS

MUNDIALES

En 1979, las reservas mundiales de bauxita, fueron estimadas en 21.670 millones de toneladas (Kurtz et al, 1980). En la tabla 1 se indican las reservas por áreas geográficas. La tabla no incluye los recursos subeconómicos, hipotéticos o especulativos, con los cuales el total ascendería al orden de 40 a 50 mil millones de toneladas.

En 1945 las reservas estimadas fueron de 1000 millones; 6 mil millones en 1965, y 22 mil millones en 1979. Este aumento en las reservas se debe al descubrimiento de nuevos yacimientos, lo cual ha repercutido en el rápido crecimiento de la producción mundial de bauxita.

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

Los elevados costos que demanda la industria primaria del aluminio han estimulado la investigación hacia el logro de métodos alternos que permitan sustituir el proceso Bayer empleado hoy en la producción de alúmina (Al_2O_3) a partir de bauxita, y hagan posible la utilización de materias primas más baratas y abundantes como la arcilla. También se realizan investigaciones sobre sistemas más eficientes que las celdas Hall-Heroult, utilizadas para obtener aluminio por reducción electrolítica de la alúmina, pero sucede que, paralelamente con la búsqueda de nuevos métodos, se han

Tabla 1
RESERVAS MUNDIALES DE BAUXITA
(Millones de toneladas)

NORTE AMERICA		SUR AMERICA	
Estados Unidos	40	Brasil	2.500
Jamaica	2.000	Guyana	700
Otros	210	Surinam	490
TOTAL	2.250	Otros	300
		TOTAL	3.690
EUROPA		AFRICA	
Grecia	700	Camerún	1.000
Hungría	300	Ghana	570
URSS	300	Guinea	6.500
Yugoeslavia (antigua)	400	Sierra Leona	130
Otros	90	Otros	5
TOTAL	1.790	TOTAL	8.205
ASIA		OCEANIA	
China (Continental)	150	Australia	4.500
India	1.000	Otros	20
Otros	65		
TOTAL	1.215	TOTAL	4.520
TOTAL MUNDIAL:		22.670	

Fuente: Kurtz H., et al, 1980

logrado avances significativos para mejorar la eficiencia de los procesos tradicionales, lo cual ha contribuido a retardar la aparición de sustitutos competitivos. Hoy parece estar más cerca el uso de tecnologías alternas para obtener alúmina, que para producir aluminio. En cuando a la industria metalúrgica según Grjotheun y Welch (1989), la tecnología Hall-Heroult continuará dominando por lo menos en los próximos 50 años.

Un método para producir alúmina a partir de arcilla fue patentado por la compañía Toth Aluminum Corporation (TAC); en una primera etapa del proceso se obtiene cloruro de aluminio puro que luego es oxidado para producir alúmina de alta pureza (TAC, 1983). La tecnología TAC tam-

bién incluye la separación del aluminio por descomposición electrolítica del cloruro. A finales de 1983, TAC inauguró sus dos primeras plantas de cloruración utilizando arcilla, en Louisiana, USA; y en la India. El cloruro de aluminio producido se utiliza como catalizador, o como químicos intermedios en tinturas, detergentes, y otros. Aún no se ha reportado producción de alúmina, o de aluminio a partir de arcilla, vía cloruro, en escala industrial. En realidad, todavía ningún productor ha utilizado la ruta arcilla-alúmina o arcilla-aluminio en la industria.

En 1968 se estimaba que el caolín y otras arcillas podrían competir con la bauxita en la industria del aluminio si el precio del metal fuera un 35%

más alto (Stamper, 1968). Desde entonces se ha pensado que el paulatino agotamiento de los yacimientos de bauxita produciría una tendencia alcista en el precio hasta niveles que hicieran competitiva la sustitución de bauxita por arcilla. Sin embargo, la necesidad de ampliar las reservas ha incentivado la exploración y prospección mineral con el resultado de que extensos recursos marginales y para-marginales han pasado a la categoría de reservas.

Por otra parte, investigaciones realizadas por empresas productoras de aluminio han permitido disminuir las exigencias químicas de la bauxita, y así utilizar minerales de bajo grado que anteriormente resultaban antieconómicos y antitécnicos.

Un caso especial es la sustitución de bauxita por sienita nefelínica y alunita que se realiza en algunas plantas de Rusia, pero estos sustitutos no han intervenido en el mercado mundial. Por lo demás, parece que a largo plazo continuarán siendo materia prima insustituible en la industria del aluminio.

TIPOS DE MINERIA

Más del 80 por ciento de la producción mundial de bauxita se extrae a cielo abierto. Los principales depósitos de los Estados Unidos, situados en Arkansas, se explotan a cielo abierto siguiendo fajas de descapote entre 3 y 5 m de espesor. Por debajo de esta cubierta superficial se justifica extraer el mineral con espesor mínimo de 30 cm. Para masas de mineral más profundas, algunas de las cuales pueden

llegar hasta 70 m, se utilizan métodos subterráneos de cámaras y pilares.

En Jamaica y Guyana, la cubierta superficial, constituida por suelo y vegetación, se remueve con bastante facilidad. Luego el mineral se fractura mecánicamente o con explosivos, para luego extraerlo con palas mecánicas.

En Francia y otras partes de Europa incluyendo Rusia, el 80 por ciento de la producción se extrae subterráneamente. Estos depósitos con frecuencia ocurren en calizas fuertemente plegadas. Dependiendo del tamaño, inclinación del cuerpo mineralizado, y condiciones del terreno, se emplean los métodos de cámaras y pilares, o derrumbe dirigido.

Estructura de la Industria

Cerca del 95% de la producción mundial de bauxita se emplea en la obtención de alúmina, de la cual el 90% se utiliza para la producción de aluminio. El 10% restante se emplea principalmente en industria química, de abrasivos y refractarios.

Alúmina. Actualmente toda la alúmina que se produce comercialmente es obtenida mediante el proceso patentado por Karl Bayer en 1888. Básicamente, el proceso consiste en el tratamiento de la bauxita con soda cáustica a elevada temperatura y presión seguido por la separación de una solución de aluminato sódico y la precipitación del aluminio en forma de hidróxido. Por calcinación se extrae el agua para obtener el óxido aluminico o alúmina. Para producir 2

toneladas de alúmina se requieren 4.5 toneladas de bauxita. La producción mundial de alúmina en el mundo occidental se presenta en la tabla 3.

Químicos, abrasivos y refractarios. El principal químico aluminico que se obtiene de la bauxita es el sulfato de alúmina, el cual se produce tratando la bauxita con ácido sulfúrico.

Los abrasivos aluminicos se producen principalmente fundiendo bauxita o alúmina en hornos eléctricos; el producto de esta fundición, solidificado y cristalizado se utiliza para la fabricación de diversos productos abrasivos.

Los refractarios aluminicos se obtienen mezclando bauxita o alúmina con un aglutinante, comprimiendo luego en bloques y sometidos a un proceso de horneado. Los refractarios aluminicos, aunque algo más costosos que los refractarios cerámicos corrientes, son más resistentes al calor, la abrasión, la corrosión y la erosión, y por lo tanto su uso se ha incrementado para procesos a elevadas temperaturas.

Aluminio. El aluminio primario se produce por electrólisis de la alúmina en un baño de criolita fundida mediante celdas de reducción electrolítica. La alúmina tratada debe contener más de 99.5% de Al_2O_3 en base seca. Las celdas de reducción electrolítica consisten en un recipiente de acero revestido de carbón con una base de aluminio líquido que sirve como cátodo; un ánodo de carbón y un electrolito de criolita fundida en la cual se disuelve la alúmina. Pequeñas cantidades de fluoruro de aluminio se

agregan al electrolito, que al combinarse con el Na_2O , una impureza de la alúmina, forma criolita artificial. El punto de fusión del baño se baja agregando pequeñas cantidades de espato flúor. La alúmina se reduce a aluminio en el cátodo y el carbón se pasa a óxido carbónico en el ánodo.

PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES

El aluminio solo y en aleaciones se utiliza en muchos productos debido a su baja densidad, alta conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la corrosión, no toxicidad, maleabilidad, reflectividad, propiedades no magnéticas y alta resistencia. En muchas aplicaciones el aluminio compite con el cobre, el acero, el estaño, el magnesio, el cuero, la madera, los plásticos y la fibra de vidrio.

INDUSTRIA DEL TRANSPORTE. Es la que consume mayor cantidad de aluminio, cerca del 20% del consumo total. El uso del aluminio en partes para automotores ha venido en aumento en los últimos años así: en 1995 se utilizaba un promedio de 30 libras de aluminio por automóvil mientras que actualmente se aproxima a 100 libras. Otros medios de transporte con importantes componentes de aluminio son camiones, furgones y ferrocarriles. Un consumo muy importante, cercano al 20% del valor total del mercado del transporte, corresponde a la industria aeronáutica.

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION. Un 8 por ciento del consumo mundial de aluminio se destina a la construcción de viviendas, puentes, vallas protectoras, estructuras prefabricadas, etc.

INDUSTRIA ELECTRICA Y COMUNICACIONES. Alrededor del 15 por ciento del consumo de aluminio es utilizado por este sector. En muchos casos, el aluminio reforzado con acero ha desplazado al cobre en líneas de transmisión de energía de alta tensión. Otros usos eléctricos incluyen conductores rígidos y tubería metálica para electricidad, cable telefónico, equipo y maquinaria eléctrica, soportes para alumbrado y lámparas eléctricas.

RECIPIENTES Y EMPAQUES. El aluminio compite con el acero y otros materiales en la fabricación de diversos tipos de recipientes y empaques rápidos y flexibles. Estas aplicaciones superan el 15% del consumo total.

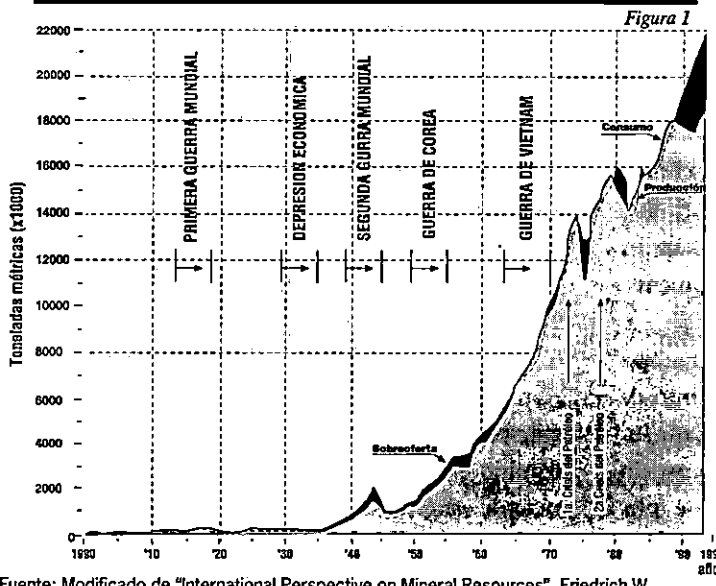
Características del Mercado

Si se comparan las curvas de producción y consumo del aluminio en el mundo occidental desde principios del siglo hasta 1993 (Figura.1) se puede observar que durante este amplio período han sucedido dos guerras mundiales, dos crisis petroleras, además, algunos eventos bélicos de repercusión mundial como fueron los conflictos Corea y Vietnam, hechos que han influido notoriamente en las cifras de sobre oferta y escasez del metal.

DEMANDA

La demanda de aluminio primario en

PRODUCCION Y CONSUMO DE ALUMINIO EN EL MUNDO OCCIDENTAL



Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources", Friedrich W. et al. (1992).

el mundo occidental disminuyó a 14,45 millones de toneladas métricas (Mtm) durante 1991, lo que representa el 0,2% menos de lo consumido en 1990.

El consumo de aluminio primario ha permanecido constante, en el mundo occidental desde 1988 no obstante los incrementos permanentes de la producción en este mismo período. A nivel mundial la diferencia entre consumo y capacidad de producción es particularmente significativa. Los países del bloque occidental han incrementado su capacidad de producción durante el último quinquenio mientras la demanda la han mantenido a un nivel más o menos constante.

Información reciente procedente de Rusia, señala que para 1992 el consumo normal de aluminio metálico en la antigua Unión Soviética alcanzó la cifra de 2,3 millones de toneladas métricas anuales; esta cifra está muy

por debajo de los 3,2 millones de tm/ anuales consumidas antes de 1991. No obstante que estos datos de consumo incluyen aluminio total, que involucra cantidades de aluminio primario más aluminio secundario, la cifra reportada, resulta aun bastante baja.

Por otra parte y a manera comparativa, el consumo total de aluminio en USA fue de 7,4 millones de tm durante 1992, de los cuales 4,6 millones de tm corres-

ponden al consumo de aluminio primario en el país.

En 1992, el consumo de los Estados Unidos, cayó 3,5% con relación a los años anteriores, ocasionado por la recesión continuada en los sectores de la construcción y del transporte. En Europa, el consumo de aluminio se incrementó en Francia e Italia, se estabilizó en Alemania Unificada y descendió en Inglaterra y Escandinavia. El promedio de consumo anual de aluminio en Europa Occidental disminuyó en 0,5% con relación al año 1991.

No obstante que el consumo de aluminio en los países del bloque oriental aumentó en 4%, aún está muy bajo, comparativamente con las tasas de crecimiento anteriores las cuales alcanzaron cifras anuales de 9,9%.

Durante 1992, Latinoamérica recuperó alrededor del 1% en el monto total de consumo, comparado con las cifras

reportadas del año 1990, período de desplome en el uso del aluminio.

Africa y Oceanía disminuyeron las cifras de consumo en 0,4 y 5,1% respectivamente. A nivel mundial los principales consumidores de aluminio, son Europa Occidental y Estados Unidos, con un porcentaje del 52% del total, le siguen Japón y Europa Oriental. El volumen de la demanda de Aluminio Primario se resume en la tabla 2.

OFERTA

Después del crecimiento de la producción a partir de 1990, la cual alcanzó una cifra de 1,3%, nuevamente se repite el incremento de oferta de aluminio en 1991 con un 3,6%, alcanzando un nivel récord de 15,13 millones de toneladas métricas.

La capacidad de producción de aluminio primario a nivel mundial se incrementó en 1 millón de toneladas métricas durante los últimos años; un poco más de la mitad proviene de dos plantas de fundición canadienses, las cuales producen 215.000 tm/año a partir de 1990, además de la expansión de otras dos plantas ya existen-

tes, logrando un total de 2,3 millones de toneladas métricas anuales.

Los Estados Unidos poseen una capacidad de producción de 4 millones de tm/anuales mientras que Rusia tiene 3,1 millones de tm/anuales, pero las plantas de fundición del bloque oriental operan tan solo a 75% de su capacidad real. Considerando los grandes sobrantes de capacidad de producción de Rusia, y de los países del sector oriental, se necesitarían varios años para conocer la verdadera relación entre la capacidad de producción y la demanda a nivel mundial.

Con el objeto de reducir los excesos de producción procedentes del bloque occidental en 900.000 tm/anuales, su capacidad de producción fue disminuida con el cierre temporal y definitivo de algunas plantas de fundición. Con el mismo propósito los Estados Unidos y Europa han reducido independientemente su capacidad de producción en 120.000 tm/año.

Comparando los mayores incrementos en la capacidad de producción de los últimos años, se esperan solamente unos 600.000 tm adicionales duran-

te los próximos tres años (hasta 1995). El incremento incluye 140.000 tm/año de la expansión de una planta de fundición en Australia y 180.000 tm/año de producción de una nueva planta localizada en Nigeria.

Suráfrica construirá una segunda refinera con capacidad de producción de 235.000 tm/año pero difícilmente entrará en operación antes del año 1996.

Posiblemente habrá incrementos en la capacidad de producción, como resultado de pequeñas expansiones de las plantas de fundición que venían operando de tiempo atrás.

Además de los excesos de disponibilidad de metal procedentes de la sobreoferta de los países occidentales, el mayor incremento de aluminio primario en el mercado, proviene de las exportaciones soterradas del antiguo bloque soviético (URSS).

Antiguamente las exportaciones de la URSS hacia occidente no sobrepasaban las 300.000 tm/año. Durante los años 1991 y 1992 se exportaron 800.000 y 960.000 toneladas métricas de aluminio primario respectivamente. La razón del incremento en las exportaciones de aluminio procedentes de Rusia y otros países del bloque oriental se justifica por la gran reducción del consumo doméstico empleado otrora en proyectos defensivos, para la fabricación de elementos bélicos.

La producción de alúmina está equilibrada con la producción de aluminio metálico. El principal productor de alúmina a nivel mundial es Australia

Tabla 2
CONSUMO MUNDIAL DE ALUMINIO PRIMARIO
(x 1.000 tm)

PAISES	1994e	1993	1992	1991	1990
Estados Unidos	4,925	4,875	4,615	4,135	4,330
Europa Occidental	4,850	4,400	4,920	4,830	4,760
Japón	2,375	2,175	2,300	2,430	2,415
Europa Oriental	1,500	1,500	2,020	2,700	3,310
Otros Países	5,775	5,380	4,940	4,890	4,325
TOTAL	19,425	18,330	18,795	18,985	19,140

Fuente: Engineering and Mining Journal, Marzo/95 (E.A.M.J.)
e= estimado

que contabiliza cerca del 25% de la producción total; este porcentaje se puede incrementar alcanzando una producción de 3 millones de tm/ anuales. Posiblemente estos incrementos se podrán cristalizar a finales de la década de los noventa, como resultado de la expansión de plantas de fundición actualmente en operación, más que descubrimiento de nuevos yacimientos de bauxita.

Estados Unidos, Europa Occidental y Rusia se han consolidado como los principales productores de aluminio metálico en los últimos años, mientras que Australia, Europa Occidental (incluyendo Yugoslavia) y Estados Unidos han sido los principales productores de alúmina.

A nivel Latinoamericano Venezuela, Brasil y México se sitúan en un nivel importante como productores de alúmina.

Las tablas 3 y 4 muestran la capacidad de producción tanto de alúmina como de aluminio primario, en el mundo occidental.

PRECIOS

La tendencia de los precios de igual manera que la oferta y la demanda, están ampliamente influenciados por eventos políticos, guerras, crisis económicas y fluctuación de las tasas de cambio.

En la figura 2 se muestra la influencia de los eventos mundiales más sobresalientes sobre el costo por kilogramo de aluminio; además, compara sus precios nominal y real a partir de 1900.

Tabla 3
PRODUCCION DE ALUMINA EN EL MUNDO
(X1000 tm)

PAISES	1996e	1994	1992	1990
Australia	13,125	12,925	12,605	11,400
China	3,875	3,100	2,100	2,100
Brasil	3,180	1,970	1,860	1,770
India	2,250	1,800	1,710	1,710
Jamaica	4,100	3,650	3,450	3,180
Rusia	3,005	3,005	3,005	3,610
Estados Unidos	5,350	5,100	5,100	5,550
Venezuela	2,000	2,000	2,000	1,400
Europa Occidental	6,800	6,800	6,700	6,635
Europa Oriental	4,320	4,320	4,320	4,360
Otros Países	4,775	4,625	4,555	4,580
TOTAL	52,780	49,295	47,405	46,295

Fuente: EAMJ Marzo/95

e= esperado

Tabla 4
PRODUCCION DE ALUMINIO PRIMARIO EN EL MUNDO
(X1000 tm)

PAISES	1996e	1994	1992	1991	1990
Australia	1,395	1,395	1,255	1,285	1,245
Brasil	1,206	1,186	1,181	1,210	1,040
Canadá	1,093	1,093	1,093	2,285	1,075
China	1,385	1,230	1,030	1,360	650
Rusia	2,970	2,970	2,970	3,105	3,105
Estados Unidos	4,045	4,035	4,030	3,995	4,123
Europa Occidental	3,492	3,397	3,605	3,945	3,608
Europa Oriental	1,028	1,028	1,058	1,135	1,325
Otros Países	5,953	5,118	5,013	3,560	4,046
TOTAL	22,567	21,452	21,235	21,880	20,217

Fuente: EAMJ Marzo/95

e= estimado

Tabla 5
VARIACIONES ANUALES DE PRECIO DEL ALUMINIO EN EL MUNDO A PARTIR DE LA DECADA DE LOS AÑOS NOVENTA

AÑO	PROMEDIO ANUAL
1990	US\$ 1639.40/t
1991	US\$ 1302.20/t
1992	US\$ 1245.30/t
1993	US\$ 1155.90/t*

Fuente: Boletín mensual de precios de productos básicos, de la Organización de las Naciones Unidas, Vol. XIII No. 4

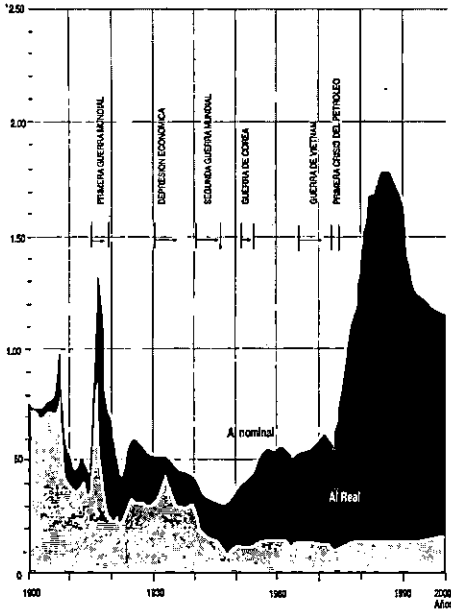
* Primer semestre 1993

Los precios de la alúmina han estado declinando desde 1990, año que se reportó para las tm un valor de US\$250.

Los precios del 91 y 92, lograron estabilizarse entre US\$190 y US\$200 por tm respectivamente.

US Dg

Figura 2



Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources". Friedrich W. et al. (1992).

PROYECCIONES

Quizás el problema más difícil que hoy afrontan los productores de aluminio es el hecho de que el mercado haya madurado a tal punto que es difícil en este momento prever un crecimiento en su consumo como el experimentado en décadas pasadas. Es poco probable que otra nueva aplicación del aluminio tan exitosa y valiosa como la última ocurrida con los envases para bebidas pueda producirse en un futuro muy próximo.

De todos modos, las circunstancias del mercado irán imponiendo los correspondientes ajustes a los productores.

Por el momento el panorama económico mundial del aluminio se vislumbra muy despejado para el inmediato futuro.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

De acuerdo con los métodos industriales empleados actualmente para la obtención de aluminio, las fuentes potenciales del metal en el país están representadas por depósitos residuales de Bauxita.

Las zonas de manifestación de bauxita reportadas hasta el momento son: El valle del Alto Cauca (en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca), La Macarena (Departamento del Meta), y los Llanos de Cuivá (Departamento de Antioquia) figura 3. Existen posibilidades en los Llanos Orientales, donde se presentan las condiciones que han dado lugar a la formación de extensos depósitos en el mundo, como clima tropical a subtropical, topografías peniplanas estables durante largos períodos para permitir la bauxitización, y escasa acción erosiva para lograr la preservación del mineral.

- Valle del Alto Cauca. Los yacimientos de bauxita más extensos conocidos en Colombia se encuentran en el valle del Alto Cauca, aproximadamente entre las latitudes correspondientes a las ciudades de Cali (Departamento del Valle de Cauca) y Popayán (Departamento del Cauca). Son yacimientos discontinuos formados por meteoriza-

ción química a partir de rocas de la Formación Popayán. Esta formación consta de depósitos volcanoclasticos y piroclásticos, de edad Plio-Pleistoceno, con predominio de fragmentos de andesita. El material de mena consiste en una arcilla blanda, algo plástica, de color pardo amarillento, con abundantes agregados gibsíticos, correspondientes a una etapa temprana de bauxitización. De esta arcilla puede obtenerse bauxita de alto grado por lavado y tamizado (Rosas, 1973).

En la tabla 6 se muestra la composición de la arcilla bauxítica y de los agregados gibsíticos obtenidos por lavado de la arcilla.

Los yacimientos se presentan preferencialmente en áreas de topografía, paralela con la actual superficie de erosión, lo cual indica que las condiciones topográficas no han experimentado cambios sustanciales desde el comienzo de la bauxitización, y por lo tanto la bauxita es de edad reciente.

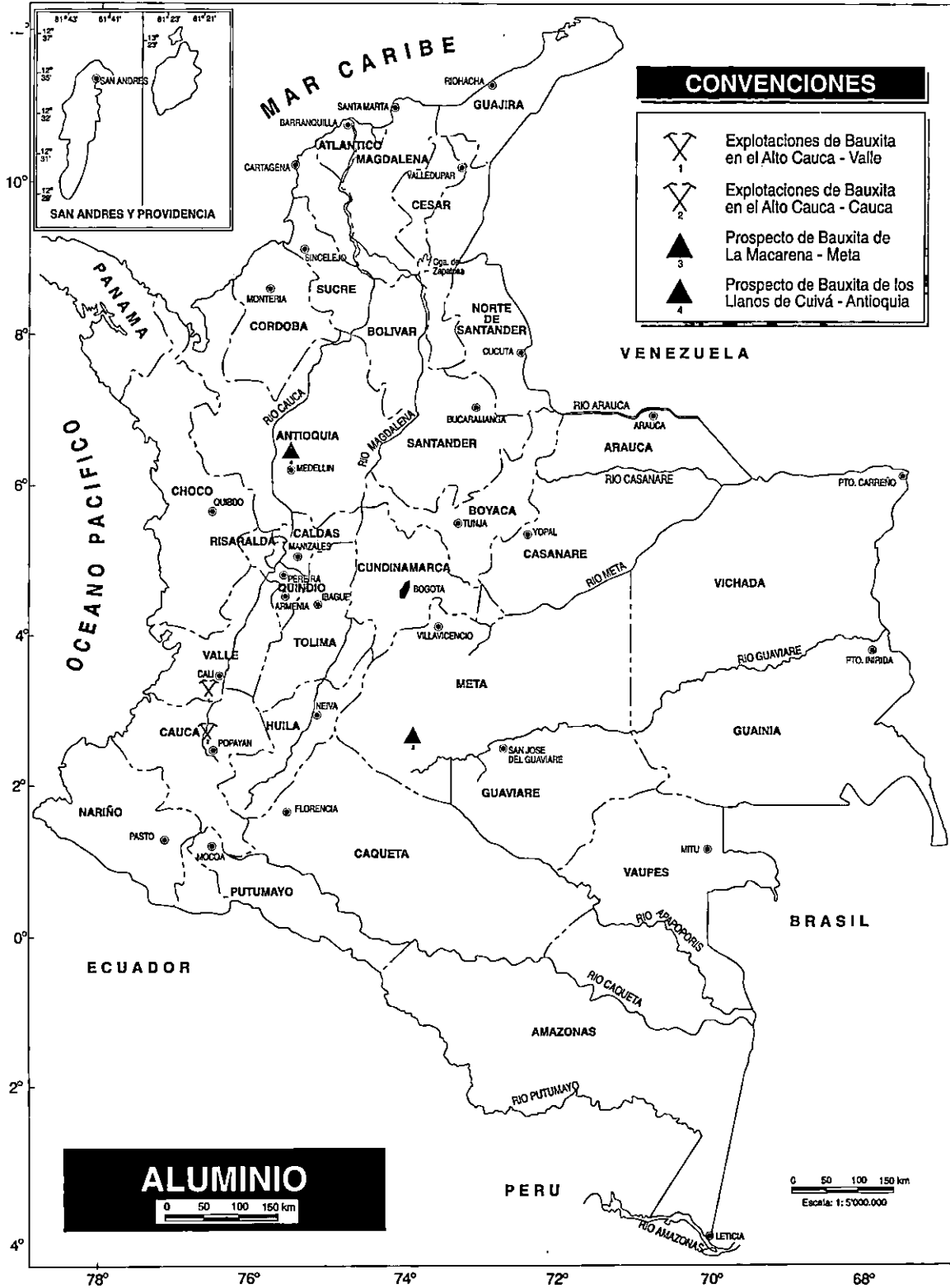
Tabla 6
COMPOSICION DE LA ARCILLA BAUXITICA Y DE LOS AGREGADOS GIBSITICOS EN EL AREA DE MORALES - CAJIBIO, CAUCA
(Valores en porcentaje)

COMPONENTE	ARCILLA BAUXITICA	AGREGADOS GIBSITICOS
Al ₂ O ₃	35.70 - 43.87	59.02
SiO ₂	20.07 - 32.34	3.02
Fe ₂ O ₃	10.16 - 13.03	4.43
TiO ₂	0.74 - 1.11	1.19
CaO	0.03 - 0.08	0.05
MgO	0.24 - 0.71	0.12
MnO	0.04 - 0.10	0.02
Pérdidas por Ignición	16.67 - 23.41	32.15

Fuente: INGEOMINAS, 1987

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA ALUMINIO

Figura 3



■ Sierra de la Macarena, en el departamento del Meta: la bauxita se presenta en el valle del Río Guayabero en forma de pisolitas hasta de 10 mm de diámetro. La zona bauxítica explorada sólo cubre una extensión de 10 km² y su espesor se estima en 10 metros (Pava y Van der Hammen, 1959).

■ Abrego, en el departamento de Norte de Santander: sobre estas bauxitas no se han realizados mayores estudios. Existe una concesión otorgada para exploración y explotación de bauxita en un área de 4.900 hectáreas en inmediaciones de la desembocadura de la Quebrada Sabanalarga en el Río Orocué.

En la tabla 7, aparecen los resultados de los análisis químicos de bauxita proveniente de Cuivá y Alto Cauca. Los valores para el Alto Cauca se refieren a agregados gibsíticos separados del material arcilloso en que se encuentran

RESERVAS

Las reservas de aluminio están restringidas a las manifestaciones de bauxita; en Colombia se limitan a los yacimientos del alto Cauca, únicos depósitos que se explotan en la actua-

lidad. Su potencial se estima en 375 millones de toneladas de bauxita de bajo grado (menos del 45 % de Al₂O₃), de las cuales pueden obtenerse 90 millones de toneladas de bauxita lavada de ato grado (más del 55 % Al₂O₃). La cifra representa el volumen total de reservas posibles o "inferidas", según el término utilizado por el U.S. Bureau of Mines y el U.S. Geological Survey, 1976.

Los depósitos correspondientes al área de Morales-Cajibío, fue estudiada con mayor detalle, lo que permitió estimar unas reservas indicadas de 20 millones de toneladas de bauxita lavada, con más de 55 % de Al₂O₃.

Otros recursos de bauxita se localizan en: La Sierra de la Macarena, Meta (Pava-Silva y Van der Hammen, 1959); Los Llanos de Cuivá, Antioquia (Wokittel, 1955) y Abrego, Norte de Santander (Forero, 1957). Todos carecen de datos suficientes para ser incluidos dentro de la categoría de "económicos", y por tanto no se consideraron como reservas.

TIPOS MINERIA

La producción nacional de bauxita proviene íntegramente de los yacimientos del Alto Cauca.

Las empresas explotadoras en su mayoría están representadas por pequeños mineros que extraen el material a cielo abierto, mediante técnicas rudimentarias, dada la naturaleza blanda del mineral (arcilla bauxítica), la cual forma una capa de 3 m de espesor

máximo situada a una profundidad entre 0,5 y 3,5 m. La capa bauxítica corresponde aproximadamente al horizonte B del suelo, en el sentido que se le da en pedología. Una vez extraído el mineral, el propio minero lo beneficia mediante lavado y tamizado utilizando las aguas naturales de la región.

Los intermediarios han creado centros de acopio a través de los cuales comercializan mayores volúmenes de mineral para las industrias de transformación.

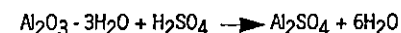
Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION

La producción nacional de bauxita se destina a la producción de sulfato de alúmina. Otros derivados de la bauxita como la alúmina y el aluminio no se producen en el país.

El sulfato de alúmina se obtiene por reacción química del ácido sulfúrico sobre la bauxita (trihidróxido aluminico):

Trihidróxido aluminico + ácido sulfúrico → Sulfato de Alúmina + agua



En el proceso industrial, la relación entre el sulfato de alúmina producido, y el insumo de bauxita nacional es aproximadamente 1/3. Evidentemente, la industria está estrechamente ligada con la del ácido sulfúrico, y ésta con la del azufre. Se trata de una cadena que en el país presenta algunos puntos críticos tanto por el lado de la bauxita como por el del azufre.

Tabla 7
ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA BAUXITA EN
ALTO CAUCA Y CUIVÁ
(Porcentaje en base seca)

BAUXITA	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %
Alto Cauca (Valle-Cauca)	59,02	3,02	4,43	1,19
Cuivá (Antioquia)	55,18	14,12	2,98	0,03

Fuente: INGEOMINAS, 1987

Para la producción de sulfato de alúmina de alta pureza, y refractarios, el país importa bauxita de Guyana y China respectivamente. Los datos obtenidos de los principales productores sobre consumo de bauxita en cada sector de la industria, se indican en la tabla 8.

De otra parte, la posibilidad de instalar la industria primaria del aluminio en el país ha sido planteada en algunas oportunidades. Según Sigmond, 1976, el país ofrece circunstancias especialmente favorables, ya que cuenta con bauxita, soda caústica, carbón y potencial energético. Además, en 1986 se firmó un convenio entre los gobiernos de Colombia y Jamaica para la importación de alúmina a cambio de carbón (Ridgeway, 1989).

APLICACIONES INDUSTRIALES

El sulfato de alúmina principal derivado de la bauxita que se obtiene en el país, se emplea para purificación de aguas. El sulfato se hidroliza en presencia de agua formando hidróxido alumínico; éste precipita en el fondo del estanque acompañado de bacterias y otros materiales en suspensión. Todos los acueductos del país se abastecen de sulfato de alúmina de producción nacional.

La industria nacional del aluminio consiste en la elaboración de artículos a partir de metales importados. El país importa aluminio en lingotes, láminas, barras, etc. y exporta alambre, perfiles, accesorios, recipientes, envases y artículos para cocina entre otros. De todas formas, en el renglón del aluminio la balanza comercial es bastante deficitaria para el país. En

Tabla 8
CONSUMO NACIONAL DE BAUXITA POR PRODUCTOS
(Tomado de encuestas a productores, en 1991)

PRODUCTO	AÑO	Al ₂ O ₃ *	Fe ₂ O ₃	PAIS DE ORIGEN DE LA BAUXITA	%
Sulfato B	30.000	55	4	Nacional	66.6
Sulfato A	10.000	60	2	Guyana	22.2
Refractarios	5.000	95	-	China	11.1

* Valores promedios en porcentaje

Fuente: INGEOMINAS, 1987.

1985, las importaciones del metal sobrepasaron los 63 millones de dólares, mientras que las exportaciones de productos elaborados no alcanzaron los 5 millones de dólares.

Características del Mercado

DEMANDA

El país no produce aluminio metálico, por lo cual el consumo total corresponde a las importaciones, del metal creando una demanda industrial adicional que le permite al país efectuar algunas exportaciones de manufactura de aluminio. Las importaciones de productos de aluminio alcanzaron en 1985 a 63,5 millones de dólares y crecieron hasta 75,5 millones de dólares entre 1991 y 1992.

Respecto a la bauxita, su demanda interna está ligada a la producción de sulfato de alúmina, en particular sulfato tipo B. A su vez, la producción y uso del sulfato tipo B está dirigida a la purificación de aguas en los acueductos del país.

Aunque la producción actual de sulfato satis-

face la demanda interna, las necesidades potenciales de agua potable en el país y por ende la futura demanda del sulfato sobrepasa en alto grado los volúmenes actuales de suministro.

OFERTA

La oferta nacional de bauxita (Tabla 9) está determinada en su mayor parte por la producción de sulfato de alúmina. Sin embargo, dado el margen de reservas disponibles y las condiciones favorables para su explotación, la capacidad de extracción del mineral podría ser mayor que la producción minera actual.

PRECIOS

La bauxita nacional se vende a \$15.000 tonelada. Para los demás minerales alumínicos, como el aluminio metálico, los precios dependen de las leyes del mercado internacional.

Tabla 9
VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION DE BAUXITA

	1989	1990	1991	1992p
Volumen (t)	1500	1640	1716	1716
Valor (millones de \$)	5.8	5.8	7.3	9.41

Fuente: Boletín Minero-Energético 1993. Ministerio de Minas y Energía
p= Datos preliminares

Proyecciones

A corto y mediano plazo el país no se proyecta favorablemente en la industria primaria del aluminio. Resulta muy improbable entrar a competir con Venezuela, el complejo metalúrgico más próximo a nuestro país.

Sin embargo, en la industria de otros productos alumínicos, terminados, como químicos y refractarios, el país posee una capacidad instalada que le abre mayores perspectivas.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAIS

El aluminio ha adquirido mayor participación en la producción de una extensa variedad de materias primas, artículos semielaborados y elaborados. Como en el país no se produce aluminio metálico, el desarrollo de este recurso continuará dependiendo de las importaciones del metal y del valor agregado obtenido a través de las industrias de transformación.

Nivel Minero

La producción de bauxita en el país proviene íntegramente de los yacimientos del valle alto del Cauca, en los departamentos de Cauca y Valle. Los depósitos forman una capa de arcilla bauxítica, con espesor variable desde 0.5 m, hasta 3 m, situada a una profundidad máxima de 3.5 m. Debido al carácter blando y delgado de la cubierta superficial, la explotación se efectúa a cielo abierto y en forma

rudimentaria, con el uso único de pico y pala. El material bauxítico se lava para remover la arcilla y otras impurezas.

Como se mencionó anteriormente, el volumen de reservas así como la potencial facilidad para mejorar su explotación, permiten pronosticar un fácil incremento en la producción minera nacional cuando las condiciones del mercado lo requieran. Algunas limitaciones relacionadas con efecto ambiental son técnicamente factibles de superar.

Nivel Industrial

La industria de transformación de minerales alumínicos en el país está orientada a la producción de químicos y refractarios. En la tabla 8 se indica la producción por productos químicos y por procedencia de los insumos.

Como no existe producción primaria de aluminio metálico en el país, este se obtiene en forma secundaria a partir de la chatarra, alcanzando un volumen cercano al 20% del monto total de las importaciones. Este reciclaje de chatarra es económicamente viable ya que requiere solamente del 5% de la energía necesaria para producir la misma cantidad de metal a partir de la bauxita.

En el sector manufacturero la industria nacional del aluminio ha experimentado un notable crecimiento. Además de la producción secundaria de lingotes de aluminio, el país produce bienes terminados como perfiles,

láminas, tubos, hojalata para empaques, papel aluminio, alambre y piezas fundidas para la industria automotriz.

Entre las principales empresas se encuentran ALCAN, Aluminio del Pacífico, Aluminio Reynolds y Aluminio Mural. Otras industrias transformadoras son FECOMERX, INDUSTRIAS VERA, MATCO, FATALTEA, CEAL GENERAL, IMUSA, UMCO, y otras.

En el campo de los compuestos químicos de aluminio, la bauxita nacional favorece el crecimiento de la industria existente en el país, especialmente como insumo para la producción de sulfato de alúmina. Para este fin, la bauxita nacional ofrece mejor calidad que la venezolana, lo cual asegura cierto grado de autonomía a la industria nacional de químicos alumínicos.

RECOMENDACIONES

Las actividades de exploración deben enfocarse hacia dos objetivos principales: 1. Evaluación de los recursos conocidos y 2. Programas de prospección con base en los ambientes geológicos favorables.

La evaluación de los recursos identificados se restringe fundamentalmente a los depósitos de la región del Cauca y Valle, donde se hace necesario ampliar el conocimiento acerca de la distribución, reservas y características del mineral. De manera similar, convendría adelantar estudios explorato-

rios sobre los depósitos bauxíticos reportados en la Sierra de la Macarena (Pava-Silva, et al, 1959) y los Llanos de Cuivá, Antioquia (Wokittel, 1955).

Respecto a los programas de prospección de nuevos recursos, se justifica adelantar labores exploratorias en algunos sectores de los Llanos Orientales, teniendo en cuenta las condiciones favorables geológicas y geomorfológicas que allí se presentan.

El proceso de beneficio afronta en primer término una tecnología inadecuada para resolver diversos problemas relacionados con la eficiencia misma del proceso, y con el impacto ambiental. En el caso colombiano, el proceso se orienta a concentrar el mineral por lavado y tamizado para disminuir sus impurezas, principalmente arcilla y hierro. La arcilla no ofrece problema porque se reduce notablemente con el lavado. La principal dificultad se presenta con el hierro (Fe_2O_3), cuyo contenido difícilmente se logra reducir al 3%. Para fines metalúrgicos se permite entre 5 y 30% de Fe_2O_3 , pero en la industria química éste no debe ser mayor del 2%. En consecuencia, la bauxita nacional se utiliza para la producción de sulfato de alúmina de baja calidad, tipo B.

Dado lo rudimentario del proceso de beneficio que se viene utilizando cabe esperar la posibilidad de mejoramientos tecnológicos que permitan bajar el contenido de Fe de la bauxita, en condiciones de eficiencia. En esta materia conviene fomentar las investigaciones por parte de los organismos del Estado, de las universidades y de ma-

nera substancial por parte del beneficiario directo, la industria.

En el caso de la bauxita, la minería comprende dos actividades básicas que son la extracción y el beneficio, las cuales se realizan por pequeños mineros mediante métodos rudimentarios. El apoyo que debe darse a este tipo de pequeña minería es complejo porque contempla varios aspectos como son:

- Facilidades de crédito, mediante fuentes de financiamiento interno y externo, incluyendo la creación de un Fondo de Garantías.
- Asistencia técnica. Proporcionar servicios de información y otorgar facilidades para contratar estudios técnicos con centros de investigación.
- Desarrollo de programas de educación y entrenamiento para el pequeño minero.
- Estimular la formación de cooperativas para que los pequeños mineros puedan proveerse de bienes y servicios a precios más bajos.
- Establecimiento de incentivos tributarios para los mineros y las cooperativas.
- Estructuración de normas jurídicas que definan y garanticen los derechos del minero.
- Establecimiento de medidas sobre seguridad minera.
- Reglamentación de la actividad minera para controlar el impacto ambiental.

En las condiciones actuales el mayor problema que plantea la explotación de bauxita con relación a la contaminación ambiental es el enturbiamiento de las aguas naturales que se

utilizan para el lavado del mineral. Como se mencionó anteriormente, la contaminación no se produce por introducción de elementos extraños al sistema ecológico de la región, sino que se trata de un inadecuado manejo de residuos, o colas, derivados del propio suelo y obtenidos a través de un sencillo proceso mecánico de beneficio. Por consiguiente, el problema fundamental se reduce a reubicar apropiadamente estos materiales, depositándolos en lugares adecuados, y evitando que sean arrastrados en suspensión por las corrientes hidrográficas. Como solución relativamente sencilla para el problema del enturbiamiento de las aguas se ha propuesto el uso de tanques de decantación.

La producción de bauxita nacional se destina en su totalidad al consumo interno, como insumo en la industria química, lo cual crea un alto grado de interdependencia entre la actividad extractiva y la de transformación, y por ende impone una total integración minero-industrial. En tales circunstancias, el sector industrial, no puede ser ajeno a las limitaciones de calidad y eficiencia que afectan la actividad minera, y en consecuencia le corresponde participar en la solución de los problemas tecnológicos que afronta la pequeña minería.

En la producción primaria de aluminio, el país no ofrece mayores perspectivas por el momento. Sin embargo, la proximidad del complejo metalúrgico de Venezuela y los nuevos acuerdos de integración comercial con el vecino país, permiten fomentar las

industrias de transformación del metal, y utilizar las condiciones logísticas y de infraestructura del país para lograr niveles de competitividad en el mercado internacional de productos aluminicos con mayor valor agregado.

En materia de desarrollo industrial el estado debe abstenerse de fomentar políticas paternalistas en favor de empresarios ineficientes con escasas posibilidades de supervivencia en un mercado competitivo.

En cambio conviene estimular la creatividad, el talento y la libre empresa en condiciones de competitividad, así como destinar mayor gasto público a programas de mejoramiento social y más justa redistribución del ingreso.

El concepto de transferencia de tecnología ha estado tradicionalmente ligado al de dependencia tecnológica. La tecnología está representada en equipos, maquinaria, procesos industriales, y un conjunto de información y conocimientos (know how), que forman parte esencial del proceso productivo.

Es evidente que los países de escasa producción tecnológica tengan que verse obligados a pagar elevados precios por este ingrediente esencial de desarrollo industrial, y de allí la importancia de fomentar la transferencia de tecnología. Sin embargo, en minería, como en otras actividades, frecuentemente ocurre que un determinado proyecto presente características muy peculiares, cuyos métodos de desarrollo no se adaptan a tecno-

logías foráneas que se ofrezcan en el mercado. Es preciso entonces desarrollar procesos y metodologías propios para problemas específicos propios; y pensar en la necesidad de estimular no solamente la transferencia de tecnología sino también el desarrollo tecnológico en el país.

En el caso de la bauxita, seguramente es mucho lo que la industria nacional podría lograr en materia tecnológica con la cooperación de centros de investigación públicos y privados. Un ejemplo típico es el problema del alto contenido de hierro que se obtiene mediante el rudimentario lavado a que actualmente es sometido el mineral. La verdad es que hasta el momento se desconocen estudios serios tendientes a solucionar este problema.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas Mundiales de Bauxita.
TABLA 2. Consumo Mundial de Aluminio Primario.
TABLA 3. Producción de Alúmina en el Mundo.
TABLA 4. Producción de Aluminio Primario en el Mundo.
TABLA 5. Variaciones Anuales de Precio del Aluminio en el Mundo a partir de la década de los 90.
TABLA 6. Composición de la Arcilla Bauxita y de los Agregados Gibsíticos, en el Area de Morales - Cajibío, Cauca.
TABLA 7. Análisis Químicos de la Bauxita en el Alto Cauca y Cuivá.
TABLA 8. Consumo Nacional de Bauxita por Productos.
TABLA 9. Volumen y Valor de la Producción de Bauxita.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Producción y Consumo de Aluminio en el Mundo Occidental.
FIGURA 2. Incidencia de los Eventos Socio-Económicos Mundiales en el Precio del Aluminio a lo Largo del Siglo XX.
FIGURA 3. Localización de Proyectos y Prospectos para Aluminio

BIBLIOGRAFÍA

- BATEMAN, A.L., 1978.- Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico, Ediciones Omega, 975 p.
- BAUMGARDNER, L.H. y HOUGH, R. A., 1983.- Bauxite and Alumina. Minerals Yearbook, U.S. Bureau of Mines, v. 1:131-142. Washington.
- ENGINEER AND MINING JOURNAL, 1993.- The International Mining Magazine Annual Commodities Survey and Outlook, Chicago.
- FORERO, C.H., 1957.- Bauxite en Colombia. Informe 1259. Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- GRJOTHEIM, K y B. Welch, 1989, Technical Developments for Aluminium Smelting as the Industry enters the 21st. Century, JOM, Noviembre, 1989, citado en Mining Magazine, Marzo 1990.
- HARDER, E.C., GREIG, EW., 1960, Bauxite en GILLSON, J.L., y otros, Industrial Minerals and Rocks, Nonmetallics other than Fuels; 3a. Edición New York, Am. Inst. Mining Metall. Petroleum Engineers, P. 65-85
- KURTZ, H. F. y BAUGARDNER, L.H., 1980.- Aluminum, Mineral Facts and Problems, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines. Bull, 671: 9-33. Washington.
- MINING JOURNAL, Volúmenes de mayo, Junio y Julio de 1993.
- MINERALES DE COLOMBIA S.A., 1991, Estadísticas del Sector Minero, Dpto. de Planeación. No. 7
- ORMET CORPORATION, 1981.- Evaluation of Colombia S.A., bauxitic clays. 49 p. Burnside, Louisiana.
- ONU. Boletín Mensual de Precios de Productos Básicos, Vol. XIII No. 4.
- PAVA-SILVA, F. y VAN DER HAMMEN, T. 1959.- Sobre la Geología de la parte sur de La Macarena. Informe 1321 Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- RIDGWAY, 1989, Colombia, Mining Annual Review, P. A55.
- ROSAS, G., H. 1973.- Bauxite in the Morales Cajibío área, Cauca, Colombia, I.C.S.O.B.A., 3er. Congreso Internacional p. 237-244. Niza.
- , 1976.- Estudio sobre los Depósitos de Bauxita en Cauca y Valle, especialmente en el área de Morales y Cajibío. Bol. Geol. Ingeominas 22 (1): 84, Bogotá.
- SIGMOND, G., 1976.- Report of the Technological Advisory Mission concerning technical assistance for the Establishment of the Aluminium Industry using indigenous Raw Materials and Hydroelectric Energy in Colombia. United Nations Industrial Development. Organization IS/COL/75/012/11-01.
- TOTH ALUMINUM CORPORATION, 1983, TAC Two Stage Chlorination Process for the Production of Alumina, Documento Interno.
- UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN, 1982.- Estudio del Tratamiento de Arcillas Bauxíticas de Colombia. 25.p.
- U.S. BUREAU OF MINES, 1988, ALUMINUM, Bauxite and Alumina: Minerals Yearbook.
- U.S. BUREAU OF MINES y U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1976, Principles of the Mineral Resource Classification System of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey, U.S.G.S. Bulletin, 1450-A.
- WOKITTEL, R., 1955.- Bauxitas en los Llanos de Cuivá. Informe 1092. Serv. Geol. Nal. Bogotá.

COBRE

Luis E. Jaramillo C. ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

Los pórfidos cupríferos aportan aproximadamente el 65% de la producción mundial de cobre. Constituyen depósitos de gran minería con reservas que fluctúan entre 100 y 2500 millones de toneladas y tenores entre 0,5 y 2,0% cobre, oro y molibdeno están asociados como subproductos importantes. Chile, USA, México y Perú poseen los mayores depósitos a nivel mundial. En Colombia se presentan pórfidos cupríferos en las cordilleras Central y Occidental pero sus condiciones de volumen y tenor no los ubican en niveles de interés económico. Después de los pórfidos aparecen, en orden de importancia por su producción, los depósitos sedimentarios, sulfuros masivos volcanogénicos y depósitos de segregación magmática. En el país existe un buen potencial para el hallazgo de sulfuros masivos en la Cordillera Occidental, los cuales además de cobre presentan alto contenido de oro y plata que incrementa notoriamente su valor.

Las reservas mundiales de cobre con base en parámetros económicos actuales alcanza una cifra del orden de 352 millones de toneladas (cobre metálico); Chile con 24%, USA con 16% y la CEI (antigua URSS) con 10%, ocupan los tres primeros lugares del volumen total de las reservas mundiales. En Colombia únicamente aparecen como reservas económicamente explotables las de la mina El Roble donde, se han probado más de 1 millón de toneladas de mineral con 4,9% Cu, 3,1 g Au/t y 10 g Ag/t.

La minería de los pórfidos cupríferos, se realiza normalmente a cielo abierto, mediante la remoción de grandes volúmenes de mineral y operaciones totalmente mecanizadas que rebajan sustancialmente los costos de operación. Excepcionalmente, algunos pórfidos son explotados por sistemas subterráneos siendo el método más común el de hundimiento de bloques ("Block-Caving"), que permite descolgar grandes volúmenes de roca, a costos competitivos.

(1) Universidad Nacional de Colombia
Profesor Asociado. Geociencias.

Los depósitos sedimentarios de sulfuros masivos y depósitos de segregación magmática normalmente, se explotan por métodos subterráneos, con costos de minería superiores a los de los pórfidos cupríferos, los cuales son compensados por los mayores tenores de cobre que presentan. En Colombia la única mina activa, El Roble, es explotada por método subterráneo.

Estructura de la Industria

Dentro del proceso industrial, el mineral (mena) y los concentrados de cobre se consideran productos primarios (materia prima). Los concentrados constituyen el primer producto vendible en términos comerciales.

Dentro de los productos semielaborados se destaca en primera instancia el "Bilister" que es el resultado del proceso de fundición con un contenido del orden de 99% Cu, producto que participa aproximadamente con el 10% de la comercialización total del material. El cobre refinado y los cátodos (99,9% Cu) constituyen el 65% del mercado de productos semielaborados de cobre, que normalmente se comercializan como alambón (Wirebor) y laminas de cobre. Los anteriores son los productos básicos en la industrialización del metal. En términos generales los sectores que acumulan el mayor consumo para productos finales de cobre y sus aleaciones son: construcción (30%), electricidad (27%), maquinaria-equipos (20%) y transporte (10-12%). El resto es empleado en artícu-

los de uso doméstico y otras industrias menores.

En Colombia, la industria nacional tiene como base productos semielaborados o finales importados, cubriendo aproximadamente el 85% de la demanda. El 15% restante proviene del metal reciclado siendo los sectores eléctrico y de la construcción, los de mayor consumo. La industria nacional de cobre es amplia y viene experimentando un proceso de expansión que requiere, por lo menos a corto y mediano plazo, productos semielaborados y finales de origen extranjero.

Características del Mercado

La demanda de cobre en el período 1985-1989 experimentó un importante incremento promedio de 4,2% anual, el cual descendió abruptamente a 0,9% (1989-1990), 0,5% (1990-1991) y tuvo su menor valor (0,3% (1991-1992)). Para el período 1992-1993 se mantuvo constante. La causa principal del brusco descenso fue la recesión experimentada por USA, Canadá y Europa, especialmente en sus sectores automotriz y de la construcción. Para el período 1993-1994 hubo un incremento de 3,6% en la producción de cobre refinado.

El consumo total en 1994 alcanzó la cifra de 9,9 millones de toneladas de cobre refinado, siendo los principales consumidores USA (2,7 millones), Japón (1,4 millones) y Alemania (1,05 millones). Por su parte, la producción de las minas cobre en 1994 alcanzó una cifra de 7,6 millones de toneladas, siendo los principales productores, Chile (2,23 millones), USA (1,8 millones) y Canadá (0,6 millones). A su vez la oferta de cobre refinado en 1994 alcanzó la cifra de 9,2 millones de toneladas, siendo los mayores productores USA (2,3 millones), Europa Occidental (1,7 millones), Chile (1,33 millones) y Japón (1,1 millones).

La diferencia de más de 1 millón de toneladas de cobre refinado sobre la producción minera se debió esencialmente al volumen de las existencias (stocks), al reciclaje y a la entrada al mercado, desde 1991, de un volumen significativo de cobre refinado del antiguo bloque socialista.

Proyecciones

Lo anterior generó una sobreoferta que se reflejó en una disminución y estancamiento de los precios del metal. Los precios del cobre en 1993 han fluctuado entre US\$1,036/lb (enero) y US\$0,848/lb (mayo) con un promedio anual de US\$0,947/lb, lo cual significó un decremento de US\$0,113/lb con relación al precio promedio del cobre en 1992 que fue de US\$1,06/lb. En lo que respecta a Colombia no existe problema con las importaciones las cuales se cancelan a los precios internacionales vigentes en el momento de la negociación.

A partir de 1992 se estima un incremento de la producción minera en 3,5% anual, causado por un aumento significativo en las minas de Indo-

nesia, Chile, USA y Australia compensado parcialmente por un descenso en las operaciones del cinturón cuprífero africano.

Según expertos la demanda de los próximos años tiende a incrementarse en una proporción similar a la de la producción, estableciéndose un equilibrio entre las dos variables con lo cual los precios de cobre tenderán a estabilizarse alrededor de US\$1,00/lb, sólo unos puntos por encima del costo promedio de producción.

Países como Chile, con costos muy competitivos, se consolidarán en el mercado. La Corporación de Cobre en Chile (CODELCO) que maneja el 65% de la producción nacional tiene un costo promedio de producción de cobre refinado alrededor de 45 centavos de dólar por libra.

En estas condiciones es poco probable que nuevas operaciones en países no productores tradicionalmente y sin una infraestructura básica (Caso Colombia) puedan tener éxito.

A nivel del país se puede lograr un incremento de la producción minera de cobre, especialmente a partir de depósitos de sulfuros masivos, que justificarán en general, operaciones de pequeña minería con producción de concentrados.

En estas circunstancias la industria nacional tendrá que seguir dependiendo de las importaciones de cobre refinado.

Perspectivas de Desarrollo en el País

La única producción de mineral de cobre en el país se registra en la mina El Roble, con 15.000 toneladas de concentrados que son exportados al Japón para su refinación. Depósitos similares a éste se presentan a lo largo de la Cordillera Occidental, por lo cual se justifica su exploración y evaluación ya que además del cobre muestran cantidades importantes de oro y plata que incrementan notablemente su valor. A nivel industrial el país tiende a fortalecer los sectores eléctrico, de la construcción y automotriz con lo cual se verá precisado a incrementar sus importaciones. De acuerdo con estas perspectivas se formulan las siguientes recomendaciones que necesariamente deben convertirse en proyectos para ser ejecutados en forma armónica por los sectores oficial y privado.

- El estado no debe realizar inversiones cuantiosas en la exploración de cobre, especialmente en lo relacionado con proyectos de gran minería. La exploración por parte de organismos estatales y privados debe concentrarse en depósitos de sulfuros masivos y en los prospectos de Pórfidos Cupríferos del área de Murindó, ubicados todos ellos a lo largo de la Cordillera Occidental.
- A corto y mediano plazo la industria nacional, que consume básicamente cobre refinado, seguirá dependiendo de las importaciones. Sin embargo, con la política de internacionalización y apertura económica,

el sector minero nacional debe fomentar negociaciones de intercambio minero ("swaps"), donde el cobre importado de países como Chile y Perú pueda ser compensado con minerales de alta producción nacional como carbón o ferromanganeso.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El cobre en su estado primario se encuentra normalmente asociado a rocas ígneas, siendo más abundante en rocas básicas e intermedias (rango entre 35 y 160 ppm). En rocas graníticas ácidas su contenido promedio varía entre 5 y 30 ppm. Presenta una marcada afinidad por el azufre por ser elemento calcófilo, por lo cual gran mayoría de los depósitos comerciales están constituidos por sulfuros de cobre, siendo predominante la Calcopirita ($CuFeS_2$: 34,6% Cu). Existe una gran variedad de depósitos de cobre, pero desde el punto de vista de contribución a la producción mundial del metal (más del 95%) se pueden agrupar en los tipos siguientes:

- ◆ Pórfidos Cupríferos
- ◆ Depósitos Sedimentarios
- ◆ Sulfuros Masivos Volcanogénicos (S.M.V.)
- ◆ Segregación Magmática.

■ Los Pórfidos Cupríferos aportan aproximadamente el 65% de la producción mundial. Están normalmente asociados a magmas calcoalcalinos generados por procesos de

tectónica de placas. En colisiones de dos placas oceánicas (tipo SW del Pacífico) los pórfidos presentan una asociación: Cu-Au con Mo subordinado, mientras que en colisiones placa oceánica/continente (tipo sistema andino) la asociación clásica es Cu-Mo, con el Au subordinado. Los primeros, muestran tenores promedios de: 0,5-1,5% Cu, 1-3 g/t, Au y 100-150 ppm Mo. Los segundos: 0,4-2,2% Cu, < 1 g/t Au y 200-700 ppm Mo. Las reservas fluctúan normalmente entre 100 y 2500 millones de toneladas.

■ **Los Depósitos Sedimentarios** (tipo Cinturón Cuprífero Africano), se generan en ambientes lagunares marinos, donde la metalización de cobre se asocia con horizontes reductores (shales y argilitas con alto contenido de materia orgánica) en secuencias evaporíticas tipo sabkha. Muestran contenidos importantes de Co, en Zaire y de Pb-Zn, en Alemania y Polonia. Los tenores promedios fluctúan entre 1,5 y 3,5% Cu, 0,2-0,3% Co, 1-2,5% de Pb y Zn. Presentan además, Ag subordinada. Una clase de depósitos sedimentarios de menor importancia, la constituye el cobre en capas rojas.

■ **Los Sulfuros Masivos Volcanogénicos** se presentan asociados a rocas verdes de composición básica a intermedia (basaltos, diabasas, andesitas) acumuladas en ambientes eugeosinclinales (Tipo Chipre, Abitibi Belt en Canadá). Son de tamaño mediano (< 100 millones de toneladas) y con concentraciones de Cu entre 1-4% y Zn como coproducto. En algunos de ellos, el Au al-

canza concentraciones entre 2 y 10 g/t, lo cual incrementa notablemente su rendimiento económico.

■ **Los Depósitos de Segregación Magmática** están relacionados a escudos precámbricos siendo los más conocidos los de Sudbury, (Canadá) donde el cobre se beneficia como subproducto del níquel (3-6% Ni y 2-4% Cu). Palabora (Africa), una carbonatita donde el cobre se presenta asociado con fósforo, titanio y algunas tierras raras (315 millones de toneladas con 0,68% Cu, 2,8 TiO₂ y 5-9% P₂O₅).

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

Una fuente probable de suministro de cobre en el futuro son los nódulos polimetálicos.

En el Océano Pacífico, (Zona de Clarion-Clipperton), donde han sido explorados con algún detalle, los nódulos presentan un contenido promedio de: 19% Mn, 0,9% Ni, 0,7% Cu y 0,3% Co. Sin poder aún establecer reservas, se considera que los recursos podrían ser del orden de 700 millones de toneladas de cobre, extraíbles de los fondos marinos. Una potencial explotación de los nódulos podría rebajar sustancialmente los precios del níquel y del cobre y traumatizar el mercado del cobalto.

Sin embargo en las actuales circunstancias, con una demanda creciente pero moderada de estos metales, las elevadas inversiones requeridas para su desarrollo y los problemas de tipo legal sin resolver por la autoridad de los fondos marinos, prácticamente descarta una explotación de los nódulos antes del año 2010.

Tabla 1
RESERVAS MUNDIALES DE COBRE EN MENA

PAIS	M/t DE Cu (METAL)	% PARTICIPACION
1. Chile	85,0	24,2
2. U.S.A.	57,0	16,2
3. CEI. (Antigua URSS)	37,0	10,2
4. Zaire	26,0	7,4
5. Canadá	17,0	4,8
6. México	17,0	4,8
7. Zambia	16,0	4,6
8. Australia	14,0	4,0
9. Perú	12,0	3,4
10. Filipinas	12,0	3,4
11. Polonia	10,0	2,8
12. Otros	49,0	13,9
TOTAL	352,0	99,7

Fuente: IWCC.1993.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Los países con mayores reservas explotables de acuerdo con parámetros económicos actuales, se presentan en la tabla 1.

Los recursos totales, a nivel continental pueden alcanzar una cifra cercana a los 1600 millones de toneladas de cobre.

TIPOS DE MINERIA

Los Pórfidos Cupríferos que contribuyen en las dos terceras partes de la producción mundial de cobre, son de gran tamaño especialmente en sus dimensiones horizontales, presentando una distribución uniforme (diseminación) de los sulfuros de cobre, y en general una baja ley (0,5-2,0% Cu).

Afloran o están hacia la superficie, lo cual hace posible su explotación a cielo abierto, mediante la remoción de grandes volúmenes de mineral y operaciones mecanizadas que rebajan los costos de minería. Pueden presentar una espesa cobertura que imposibilita, en términos económicos, su explotación a cielo abierto. En este caso se apela a la explotación subterránea masiva con el método conocido como hundimiento de bloques "Block Caving", que permite descolgar grandes bloques, utilizando explosivos, aprovechando de esta forma la gravedad y el propio peso del mineral.

Los costos de minería, aunque mayores que los de cielo abierto, son altamente competitivos en razón a los altos volúmenes de la operación. En el caso de la mina subterránea de El Teniente en Chile, el costo unitario de minería es solamente 10 a 15% superior al de la explotación a cielo abierto de la mina de Chuquicamata (cerca de US\$0,40 /libra de cobre extraído).

Los depósitos sedimentarios, tipo Cinturón Cuprífero Africano, debido a su carácter estratiforme son explotados por minería subterránea, mediante los métodos de cámaras y pilares, subniveles y cámaras, corte y relleno y tajo vacío, este tipo de minería, conduce a pérdida de reservas del orden de 15% o más, como resultado de la imposibilidad de recuperar el mineral dejado en los puentes y pilares. Los costos mineros en los métodos subterráneos, a excepción del hundimiento de bloques, duplican o triplican a los de cielo abierto, y requieren menos cuyo tenor de cobre supere el 2 o 3%.

Otros depósitos de cobre como los sulfuros masivos volcanogénicos, de segregación magmática, vetas y filones hidrotermales son explotados por métodos subterráneos.

Estructura de la Industria

Los minerales de cobre son sometidos a procesos de concentración, flotación, fundición y refinación, obteniéndose los diferentes productos comerciales de cobre que sirven de base a la industria.

MATERIA PRIMA

El paso inicial en la industrialización de cobre es la producción de concentrados que constituyen el primer producto vendible en términos comerciales. Las normas exigen un contenido mínimo de 24% de cobre, para que sean aceptados en los mercados internacionales. En la actualidad su demanda es buena, y no se presentan problemas para colocarlos en mercados como los de Japón, Alemania, Corea y República Popular China. Lo anterior no resulta muy ventajoso en términos de valor agregado, pero si constituye una alternativa para aquellos países cuyo volumen de producción no justifica el montaje de plantas de fundición y refinación. Sin embargo en los últimos años, 1990 y 1991, se ha incrementado su oferta y el costo de fundición y refinación se descuenta al valor de venta del producto. Antes de 1990 estuvo alrededor de US\$0,20/lb, mientras que al final de 1991 alcanzó una cifra cercana a los US\$0,35/lb, lo cual

ha desestimulado un poco la oferta de concentrados.

La presencia de metales, preciosos (Au y Ag), facilita y presenta ventajas comparativas para la comercialización del producto. Los concentrados representan normalmente un 25% del mercado total de cobre.

PRODUCTOS SEMIELABORADOS

Dentro de los productos semielaborados de cobre que abastecen la industria mundial se destacan el blister y el cobre refinado.

■ El blister es el resultado del proceso de fundición, donde en una primera etapa, el concentrado es sometido al proceso de tostación que permite eliminar impurezas como arsénico, antimonio y bismuto para luego llevarlo al horno donde se separan la escoria y el mate, un producto con cerca de 80% de cobre. El mate se lleva a un convertidor donde se separa el sulfuro de hierro y después el azufre, resultando un material con una ley no mayor del 99,5%. Hoy el proceso más utilizado es el de horno eléctrico conocido como "Flash Smelting" que utiliza calor acompañado de inyección continua de aire u oxígeno para la reducción del mineral.

El blister participa aproximadamente con el 10% de la comercialización total del cobre. Zaire, Chile y Perú acaparan la mayor parte de las exportaciones, mientras que Bélgica, Alemania, Inglaterra, USA, Japón y Corea son los mayores importadores del producto.

■ El cobre refinado, el producto de más alta ley (99,9% de cobre) se obtiene a partir del blister mediante los procesos de refinación al fuego o refinación electrolítica. El primero utiliza un horno con inyección de aire a presión y temperaturas de oxidación, lo cual permite mediante adición de sílice captar los metales diferentes al cobre en una escoria, obteniéndose cobre con una pureza del 99,9%. En el segundo, el "blister" se trata en celdas que contienen una solución de ácido sulfúrico con sulfato de cobre diluido, al paso de corriente eléctrica, el cobre se deposita sobre láminas de cobre puro, de donde se recupera el metal con una pureza superior a la del cobre refinado al fuego (> 99,9% Cu).

■ El cátodo obtenido en forma de plancha se comercializa directamente o es moldeado como barras (Wirebars). Ambos productos se utilizan para la producción de alambre mediante el proceso convencional o el proceso de "colado continuo" que utiliza directamente el cátodo, no siendo necesario la obtención previa de barras.

El cobre refinado al fuego representa un 10% y los cátodos aproximadamente el 55% del total del mercado mundial.

Sobre un total aproximado de 9.050.000 toneladas de cobre consumido en 1991, la siguiente sería la participación de materia prima y productos semielaborados que sirven de base a la industria.

Concentrados (aprox. 25%)	2.250.000
Blister (aprox. 10%)	900.000
Cobre refinado al fuego (aprox. 10%)	900.000
Cátodos (aprox. 55%)	4.950.000
TOTAL	9.000.000 t.

PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES

Las láminas (cátodos), barras y alambre de cobre constituyen los productos básicos en la industrialización del metal. En términos generales los sectores que acumulan el mayor consumo de productos finales de cobre son: electricidad, transporte, construcción, maquinaria y equipo, usos domésticos y otros.

A nivel mundial y especialmente en países desarrollados como USA, Europa y Japón, el sector eléctrico consume un 27% en forma de cables de alumbrado, telefónicos, y de energía, motores, generadores, transformadores, equipos de distribución y otros de alumbrado. Este sector que ha sido el principal consumidor de cobre presenta así mismo los mayores niveles de sustitución: la fibra óptica constituye el primer elemento de sustitución del alambre de cobre en telecomunicaciones, mientras que en los cables de transmisión, el aluminio tiene un papel predominante por su menor peso, que permite utilizar un menor número de torres de soporte por unidad de extensión. Se prevé un mayor volumen de sustitución hacia el futuro.

■ La industria del transporte, en países desarrollados consume entre el 10 y 12% de la producción mundial, las cuatro quintas partes en el sector automotriz y una quinta en el sector ferroviario y naval. En la industria automotriz, se utiliza en los sistemas de refrigeración (radiadores, termostatos, calefacción), sistemas eléctricos, (dínamos, distribuidores, reguladores) y en otros componentes como carburadores, válvula y sistemas de frenos. El aluminio viene sustituyendo al cobre en algunos equipos de refrigeración.

■ La Industria de la Construcción, se considera la de mayor participación, consume el 30% de la producción mundial. El cobre y sus aleaciones se utilizan en tuberías de distribución de agua y de servicios sanitarios, calefacción y aire acondicionado, calentadores de agua y productos de cerrajería. Así mismo, tiene una utilización importante en tubos y accesorios para la distribución de gas y petróleo.

■ La fabricación de tubos y accesorios representa la mayor participación del cobre dentro de la industria de la construcción, debido a la alta conductividad térmica y a la resistencia a la corrosión. Dentro de este sector, la sustitución por plástico ha sido significativa. Sin embargo, su uso, está siendo revaluado por su mayor duración.

■ La fabricación de maquinaria y equipos, utiliza el 20% de la producción mundial. El cobre y sus aleaciones constituyen la base en la elaboración de equipos térmicos,

condensadores en estaciones de energía, plantas de salinización, válvulas y bombas, plantas de procesamiento petroquímico, fabricación de equipos de aire acondicionado y plantas de refrigeración. En este sector se ha presentado la sustitución del cobre por el acero inoxidable y el titanio, en los condensadores de estaciones de energía y en los intercambiadores térmicos.

- Los artículos de uso doméstico y otros consumen el 10% de la producción mundial; y los equipos de sonido utilizan el cobre en motores, cables y transformadores. Además en la industria química se utiliza para la producción de sales de cobre (sulfato y oxicluros) y en aleaciones para la fabricación de monedas, armas y otros implementos.

Características del Mercado

Analizando históricamente las curvas de producción y consumo de la figura 1 desde 1970 hasta finales de 1994, se

Tabla 2
DEMANDA DE COBRE REFINADO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Consumo x 1000 t)

PAIS	1989	1990	1991	1992	1993	1994e
Europa Occ.	3,243	3,274	3,158	3,163	3,025	3,175
Africa	100	96	93	101	103	114
Japón	1,447	1,577	1,613	1,411	1,385	1,392
Otros de Asia	1,035	1,116	1,338	1,382	1,565	1,672
Canadá	213	181	159	156	186	205
U.S.A.	2,204	2,150	2,048	2,179	2,368	2,665
Latinoamérica	496	426	478	498	505	534
Oceanía	131	125	104	126	150	146
TOTAL	8,868	8,944	8,990	9,016	9,287	9,903
Crecimiento anual (%)	5,5	0,9	0,5	0,3	3,0	6,6

Fuente: WBMS, ICSG, Codelco-Chile
e= estimado.

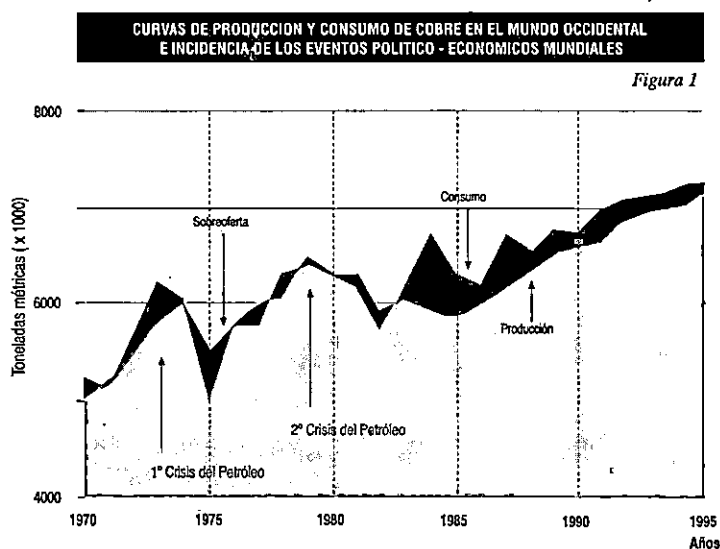
puede apreciar que a partir de la primera crisis del petróleo hubo un desplome en la demanda que generó una sobreoferta de cobre durante más de tres años consecutivos. La segunda crisis del petróleo también ocasionó una caída en el consumo pero menos contundente que en el primer fenómeno económico. Cabe señalar que la sobreoferta causada por la segunda crisis energética se mantuvo hasta 1982. A partir de esta fecha el monto

total de producción se ha mantenido por debajo del consumo, cuya diferencia debe estar suplida por el bloque oriental.

DEMANDA

El consumo total de cobre refinado en los países del mundo occidental, para el período 1989-1992, se compilan en la tabla 2.

En el período 1985-1989, el consumo de cobre experimentó un importante incremento promedio de 4,2% anual, el cual descendió abruptamente a 0,9% (1989-1990), 0,5% (1990-1991) y tuvo su menor valor 0,3% (1991-1992). Para el período 1992-1993 hubo un incremento importante de 2,7% y para 1993-1994 se registró el mayor incremento llegando a un crecimiento anual de 6,6%. A pesar del importante incremento del consumo en el Japón y en los nuevos países industriales (NPI) de Asia, la recesión en USA, Canadá y Europa en los sectores automotriz y de la cons-



Fuente: "International Perspective on Mineral Resources". Friedrich. W. Septiembre 1992.

trucción causaron un descenso en el consumo total.

El mercado del cobre se ha visto afectado por los cambios políticos experimentados en el Bloque Socialista, situación reflejada en las exportaciones al mundo occidental que se estiman en 300.000 toneladas en 1991. Estas provienen de las existencias (stocks) de la Unión Soviética, Polonia y no de nuevas operaciones, ya que se conoce del cierre de minas y refinерías en estos países. Sin duda esta situación seguirá afectando los mercados internacionales del cobre y de otros metales.

OFERTA

La producción de las minas de cobre en países del mundo occidental, para el período 1989-1994 se compilan en la tabla 3.

Los hechos que afectaron el comportamiento de la producción en los años considerados, fueron el deterioro continuo en la producción del Cinturón

Tabla 4
PRODUCCION DE COBRE REFINADO
EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Producción X 1000 t)

PAIS	1989	1990	1991	1992	1993	1994e
Europa Occidental	1,727	1,704	1,613	1,641	1,651	1,685
Africa	913	851	795	715	632	551
Japón	991	1,008	1,075	1,162	1,190	1,098
Asia (sin Japón)	553	528	548	598	652	639
Canadá	516	523	535	539	563	535
U.S.A.	1,954	2,048	2,052	2,187	2,239	2,277
Chile	1,116	1,156	1,181	1,239	1,272	1,313
Latinoamérica (sin Chile)	589	554	601	661	652	680
Australia	251	272	266	300	317	340
TOTAL	8,610	8,644	8,666	9,042	9,168	9,118
Crecimiento anual (%)	4,8	0,4	0,3	4,3	1,4	-0,5

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1995. e= estimado.

Cuprífero Africano (Zambia y Zaire), el cierre de Bouganville en Papúa-Nueva Guinea y algunas huelgas en Canadá, México y Chile. En los aspectos positivos se destacan la recuperación de la minería de cobre en Perú, el impacto significativo del gigantesco depósito de Escondida en Chile, ampliaciones importantes en minas de USA, y la consolidación de la operación de Ok-Tedi, en Papúa-Nueva

Guinea. Por otro lado la tabla 4 muestra la situación actual de la producción de cobre refinado, en el mundo occidental, para el período 1989-1994.

El déficit de la producción minera frente a la demanda de cobre refinado fue evidente hasta 1991. Para 1992 existió una oferta que superó la demanda en 0,05 millones de toneladas, lo cual se puede explicar por el crecimiento de las existencias (stocks), el reciclaje y la entrada al mercado (desde 1990) de un volumen significativo de cobre refinado del antiguo Bloque Socialista.

PRECIOS

Los precios del cobre en 1992, fluctuaron entre US\$1,20/lb y US\$0,95/lb con un promedio anual alrededor de US\$1,06/lb, lo cual significó un decremento del 1,76%, en relación con el precio promedio en 1991 (US\$1,08/lb). A comienzos del año 1991 el precio fluctuó en niveles altos, alrededor de US\$1,20/lb, debido en gran parte al

Tabla 3
PRODUCCION DE COBRE EN BOCA DE MINA
EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Producción x 1000 t)

PAIS	1989	1990	1991	1992	1993	1994e
Chile	1.609	1.588	1.814	1.947	2.059	2.236
U.S.A.	1.512	1.617	1.637	1.761	1.779	1.820
Canadá	723	794	798	733	702	622
Zambia	510	496	412	428	432	374
Perú	364	318	375	357	364	360
Australia	295	327	320	361	396	419
México	249	291	267	256	279	290
Zaire	441	356	292	152	62	39
Sur Africa	197	197	193	201	178	184
Papúa - Nueva Guinea	204	170	204	188	197	194
Otros Países	1.049	1.081	1.102	1.119	1.074	1.040
TOTAL	7.153	7.235	7.414	7.503	7.542	7.578

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1995. e= estimado.

temor de una larga duración en la Guerra del Golfo, pero una vez finalizada la guerra el precio cayó a niveles por debajo de un dólar por libra. Para 1992 el precio tuvo un marcado descenso desde enero (US\$103,6/lb) hasta mayo (US\$84,8/lb) aumentando en junio a (US\$87,8/lb), teniendo un promedio anual de US\$94,7/libra. Entre las causas para los bajos niveles del precio del cobre en 1991 y 1992 se mencionan así mismo, el incremento de las existencias en algunos países como Japón, la recesión en las industrias automotriz y de la construcción y la entrada al mercado, de cobre refinado proveniente del Bloque Socialista.

Por otro lado se destaca que los tres subproductos principales del cobre experimentaron baja en sus precios en 1991 con relación a 1990. El oro, con un promedio de US\$362/oz, rebajó en

un 5,5%, la plata, con promedio de US\$4,06/oz, rebajo en un 16,3% y el molibdeno, rebajo en un 16,2%, con un precio promedio de US\$2,35/lb, manteniéndose la tendencia para 1992.

La variación del precio del cobre en el mundo occidental se puede observar en la figura 2, para el período 1900-2000. El precio del cobre para el período 1993-1994, se incrementó en 21% y alcanzó US\$ 104.9/lb. Para el año 1994, el mercado del cobre fué un buen año, después de tres años de recesión. Los expertos consideran que el mercado seguirá siendo positivo para 1995, teniendo en cuenta que el crecimiento económico de los 7 (siete) principales países industrializados llegó a 3,1%, después de un período de tres años que sólo alcanzó cifras entre 0,8 y 1,5%. Otros factores que mejoraron el mercado del cobre fueron la alta tasa de crecimiento económico de los Nuevos países Industrializados del Asia (NIC) y la consolidación de la economía Latinoamericana.

Proyecciones

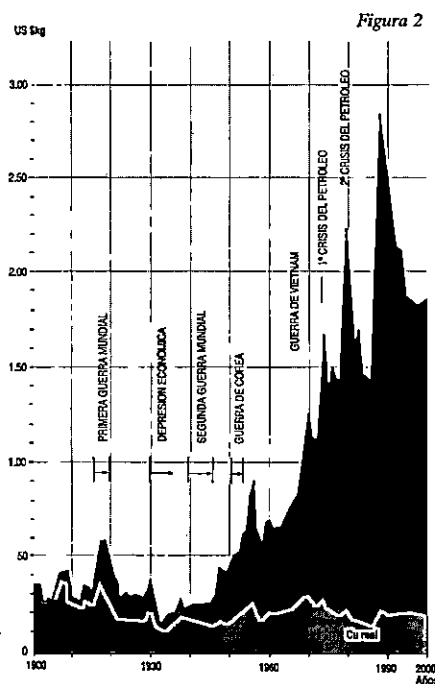
Se estima que la producción minera de cobre experimentará, a partir de 1992, un incremento anual, del orden de 3,0% (según Cooper Market Update, May 26/93), causado por un aumento sustancial en las minas de Indonesia, Chile, USA y Australia, compensado parcialmente por un descenso en la producción del Cinturón Cuprífero Africano, especialmente en Zaire.

Las proyecciones muestran que para el período 1990-1994, la capacidad instalada por nuevas minas y expansiones de las ya existentes incrementaron la producción en cerca de 1,4 millones de toneladas. Un incremento sustancial corresponde a Chile, con cerca de 660.000 toneladas, para un 47% del total; le siguen U.S.A, Indonesia, Filipinas, Australia y Perú, con lo anterior Chile se consolidará como el primer productor mundial de cobre con base en inversiones (1991-1992) del orden de US\$2.300 millones.

Por otro lado se prevé una reducción de la producción minera del orden de 550.000 toneladas, por cierre de minas y reducción de operaciones, en Canadá, U.S.A., Australia, Filipinas, Chile y Perú. Como se puede apreciar los mismos países están involucrados en el incremento y en la reducción de producción, pero todas con excepción de Canadá presentarán saldos positivos. Según expertos la demanda en los próximos años tiende a incrementarse en una proporción similar a la de la producción, estableciéndose un equilibrio entre las dos variables y de esta manera se podrán mantener los niveles de las existencias (stocks) bajo control.

En estas circunstancias los precios del cobre tenderán a estabilizarse alrededor de US\$1,00/lb, sólo unos puntos por encima del costo promedio de producción. Países como Chile con costos de producción muy competitivos se consolidarán en el mercado. En la actualidad, la Corporación Nacional de Cobre en Chile (CODELCO) que maneja las dos terceras partes de la producción tiene un costo prome-

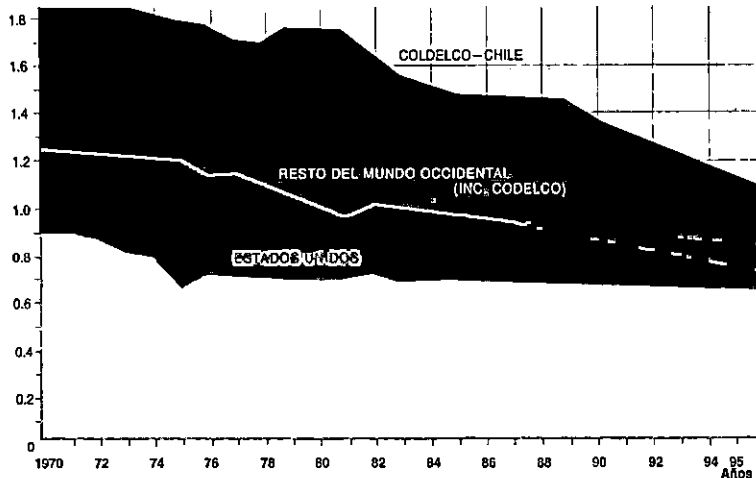
CURVAS DEL PRECIO NOMINAL Y REAL DEL COBRE A LO LARGO DEL SIGLO XX E INFLUENCIA DE LOS EVENTOS POLITICO-ECONOMICOS MUNDIALES SOBRE EL VALOR DEL METAL EN US\$/kg.



Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources". Friedrich W. et al. 1992.

TENDENCIAS DE LAS LEYES DE COBRE 1970 -1995 (TAJO ABIERTO Y SUBTERRANEO)

Figura 4



Fuente: JUNA-LIMA, 1992.

dio en el cobre refinado de 45 centavos de dólar por libra. En estas condiciones es poco probable que nuevas operaciones en países no tradicionalmente productores y sin una infraestructura básica, puedan tener éxito.

En la actualidad existe un problema relacionado con el incremento en las existencias (stocks) de concentrados de cobre, por un déficit en la capacidad instalada de fundición y refinación creando una especie de "cuello de botella". Lo anterior ha llevado al incremento en los costos de fundición y refinación y por lo tanto un desestímulo en el mercado de concentrados. Esta situación es temporal y el mercado podrá recuperarse.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS

DE DEPOSITO

Con base en el estado actual de conocimiento metalógeno se puede establecer que el potencial

cuprífero está restringido al Sistema Andino del país. La figura 3, (INGEOMINAS, 1987) muestra un sinnúmero de yacimientos, prospectos y manifestaciones asociadas a cinturones cupríferos en las cordilleras colombianas, que sin duda, constituyen la prolongación del Sistema Andino Suramericano donde se encuentran los gigantescos depósitos de Chile y Perú, dos de los mayores productores de cobre a nivel mundial.

Realizando una síntesis y dejando de lado algunos detalles genéticos, los depósitos de cobre del país se pueden agrupar en tres categorías:

Pórfidos Cupríferos, Sedimentarios y Sulfuros Masivos Volcanogénicos (SMV).

■ Los Pórfidos Cupríferos, en el país, aparecen ubicados en dos cinturones que corresponden a las cordilleras Central y Occidental. En la Central, los depósitos se encuentran en la parte sur de la cordillera, asociados con facies porfídicas de batolitos

jurásicos, donde se destacan los de Ibagué y Mocoa. De norte a sur se han identificado (Figura. 3): Los Andes, El Infierno-Chilí, Dolores, Mocoa y Patascoy. A excepción de Mocoa, los otros cuatro, constituyen sistemas porfídicos incipientes, sin que su metalización alcance niveles de interés económico. Normalmente se caracterizan por tenores alrededor de 0,1% Cu y 0,015-0,025% Mo, calculados a partir de algunas pocas perforaciones. En el caso de Mocoa, donde se realizaron 31 perforaciones entre 300 y 900 m de profundidad que sirvieron de base a un estudio de prefactibilidad (Naciones Unidas - INGEOMINAS, 1984) se estimaron reservas del orden de 200 millones de toneladas con 0,4% Cu y 0,075% Mo.

En la Cordillera Occidental, los depósitos se presentan desde la frontera con Panamá hasta los límites, con Ecuador. De norte a sur se localizan (Figura. 3). Acandí, Murindó, Pantanos-Pegadorcito, Andágueda, Piedra Sentada-Dominical y Piedrancha. En Acandí, Pantanos - Pegadorcito y Piedra Sentada-Dominical se han realizado algunas perforaciones que permitieron detectar en el primero de ellos, valores de 0,2% Cu y 50 ppm, de Mo. En Pantanos-Pegadorcito se estimaron cerca de 70 millones de toneladas con 0,6% Cu y 90 ppm, de Mo. En Piedra Sentada-Dominical los valores, están alrededor de 0,1% Cu y 50-70 ppm de Mo, como punto de comparación se muestran tendencias de las leyes de cobre 1920-1995 (Figura 4), de donde se puede deducir que

los prospectos analizados, no presenta posibilidades económicas.

Del resto de yacimientos, vale la pena destacar a Murindó donde los muestreos geoquímicos superficiales dieron valores interesantes de oro. Esto unido a su ambiente de formación en arcos insulares (tipo OK-Tedi y Bouganville en el Sur Pacífico), hace que sea un prospecto prioritario, para realizar una exploración detallada. En la Cordillera Oriental, distrito aurífero de California (Santander) se presenta un pequeño pórfido donde se mencionan cerca de 60.000 toneladas con 1,24% Cu. En la parte sur de la Cordillera Central se ubican algunos prospectos de tipo "Skarn", dentro de los que se destaca Mina Vieja (Tolima) donde se explotaron cerca de 400.000 toneladas con 2,05% Cu; en la actualidad la operación esta cerrada. Los demás, no muestran interés económico.

■ **El Término Depósito Sedimentario**, en este estudio, se aparta del concepto metalogénico tradicional, y se refiere en general a concentraciones metálicas de cobre ubicadas dentro de secuencias sedimentarias. En Colombia se conocen numerosas manifestaciones en capas rojas de las Cordilleras Central y Oriental. Su potencial es reducido y sólo aquellas que presentan valores de oro y plata podrían justificar una reevaluación con miras a operaciones de pequeña minería y producción de concentrados. Así mismo, en calizas del Cretáceo, en la Cordillera Oriental se han extraído sulfuros de cobre, de manifestaciones que actualmente no presentan interés económico.

■ **Sulfuros Masivos Volcanogénicos (SMV)**, se han sido identificado en la Cordillera Occidental, en los cuatro prospectos conocidos como: El Roble, Santa Anita, La Equis y Sabanablanca (El Dovio). De estos vale la pena destacar el primero, donde la compañía Ereesa (consorcio Colombo-Japonés) ha probado más de 1 millón de toneladas con 4,9% en cobre 3,1 g/t en oro y 10 g/t de plata. En Sabanablanca, donde la exploración es aún incipiente se mencionan cerca de 100.000 toneladas con más de 6,0% de cobre y más de 10 g/t en oro. Estos prospectos de SMV en la Cordillera Occidental significan un potencial interesante para pequeña y mediana minería de cobre, cuyo valor se incrementa por la presencia de los metales preciosos. Sin embargo, su volumen reducido no justifica, el montaje de plantas de fundición y refinación.

RESERVAS

Las reservas geológicas ya fueron mencionadas en el numeral anterior.

Como reservas explotables, al menos en las condiciones actuales, únicamente las de la Mina El Roble, presentan viabilidad económica, pero no sobra mencionar yacimientos de interés económico, parcialmente evaluados como los del Dovio, Mocoa, Pantanos y Murindó (Figura. 5).

TIPOS DE MINERIA

La única mina activa en el país, El Roble, es explotada por métodos subterráneos (Block-Caving) con una recuperación del orden del 90%. Las colas provenientes del proceso de beneficio se almacenan en piscinas de de-

cantación para evitar el vertimiento de gran cantidad de sedimentos a las corrientes naturales de agua (por cada 5 toneladas de concentrados se producen 500 a 600 m³ de sedimentos).

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION

En la actualidad, el mineral de cobre de la Mina El Roble constituye la única materia prima explotada en el país. Sirve de base a la producción de concentrados de cobre (24% Cu) con valores importantes de oro (más de 12 g/t) y de plata (más de 25 g/t).

APLICACIONES INDUSTRIALES

La Industria nacional del cobre tiene como base productos semielaborados o finales importados. Una pequeña cantidad, el 15% del cobre utilizado en la industria proviene del metal reciclado en pequeñas empresas del país especialmente en Cobre de Colombia en Cali-Yumbo, Colcobres en Medellín y Cobrecol S. A., en Santafé de Bogotá-Mosquera.

La industria de cobre del país parte de productos semielaborados importados, alambrón y lámina. El alambrón es trefilado y constituye la base de la industria eléctrica que consume el mayor porcentaje de cobre. Se producen cables de transmisión de energía, de alumbrado y telefónicos, generadores, transformadores y equipos de distribución.

La industria de la construcción constituye el segundo renglón en la utilización del cobre. La lámina de cobre

Figura 5

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA COBRE



importada es transformada en el país y conjuntamente con sus aleaciones es utilizada en tubos y accesorios de distribución de agua y servicios sanitarios; así mismo en calentadores y equipos de aire acondicionado y productos de cerrajería en general. Una menor proporción es utilizada por la industria automotriz que se encuentra en proceso de expansión. Partes de automotores especialmente de los sistemas eléctricos y de refrigeración son elaborados por la industria nacional.

La chatarra de cobre es fundida o utilizada directamente por los procesadores de latones y bronce y su mayor consumo está en el área de la construcción y de algunos utensilios domésticos. Como se puede apreciar la industria nacional del cobre es amplia y viene experimentando un proceso de expansión que requiere, por lo menos a corto y mediano plazo, de productos semielaborados y finales importados.

Características del Mercado

DEMANDA

Se desconocen estadísticas sobre el consumo total por parte de la industria nacional, pero se estima que en los años 91-92 ha fluctuado alrededor de 35.000-40.000 toneladas de cobre refinado, de las cuales unas 20.000-25.000 son importadas y cerca de 8.000-10.000 corresponden al proceso de reciclaje por industrias nacionales. Las importaciones (años 91-92) representan US\$50,0 millones, de los cuales cerca de US\$40,0 millones corresponden al alambre

de cobre, y el resto a láminas y tuberías. Teniendo en cuenta que en la actualidad, el país no presenta ventajas comparativas para la producción de materia prima (mineral de cobre), la industria nacional dependerá necesariamente de las importaciones.

OFERTA

La única producción de mineral de cobre registrada es la de la Mina El Roble, donde anualmente se producen cerca de 15.000 toneladas de concentrados, los cuales en su totalidad son exportados al Japón para su refinación.

PRECIOS

El país no tiene incidencia alguna en el mercado internacional del cobre y por lo tanto el costo de las importaciones se rige por los precios internacionales del metal en el momento de realizar los compromisos.

Proyecciones

Las proyecciones en lo relacionado con un desarrollo minero industrial con base en el cobre no son buenas. En los momentos actuales de internacionalización y apertura económica, Colombia no está en capacidad de competir con otros países a nivel latinoamericano y a nivel mundial en la producción de minerales de cobre y por lo tanto la industria nacional, que a corto y mediano plazo muestra una tendencia moderada en su crecimiento, deberá continuar con sus importaciones del metal.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

El cobre resulta un metal prioritario para mantener y fortalecer la industria metalmeccánica del país. Sin embargo, la perspectiva de lograr lo anterior con materia prima nacional es baja y el país tendrá que mantener e incrementar sus importaciones. A continuación se presentan algunas de las perspectivas del país en los sectores minero e industrial, sus posibles ventajas comparativas y recomendaciones para adelantar proyectos relacionados con el cobre.

Nivel Minero

Dentro del sector minero, se puede apreciar que aunque el cobre presenta una amplia dispersión en el país, hasta el momento no se conocen depósitos de volumen y calidad que puedan competir internacionalmente. El país, a corto y mediano plazo, seguirá dependiendo de las importaciones. La única producción de mineral, se registra en la Mina El Roble con 15.000 toneladas anuales de concentrados que son exportados al Japón para su refinación. Depósitos similares a este, se presentan a lo largo de la Cordillera Occidental por lo cual se justifica, su exploración y evaluación, ya que presentan cantidades importantes de oro y plata que incrementan notablemente su valor. Pórfidos Cupríferos, que a nivel mundial contribuyen con un 65% de la producción de cobre han sido identificados y evaluados en las cordilleras Occidental y

Central en Colombia. Sin embargo su volumen y calidad están por debajo de los estándares económicos internacionales y la probabilidad de hallazgo de un depósito de este tipo con mejores condiciones, es remota.

Las expansiones previstas en países de gran producción como Chile, Perú y México y sus bajos costos de producción especialmente los de Chile, alejan aún más las posibilidades de Colombia. Con base en lo anterior, se puede establecer que nuestro país no presenta ventajas comparativas para el desarrollo de grandes proyectos mineros de cobre.

Nivel Industrial

El abastecimiento de cobre resulta vital para mantener el desarrollo industrial del país. En efecto, la industria nacional funciona con base en importaciones del orden de US\$75 millones anuales (1991-1992), representadas en alambtrón y lámina de cobre. Las perspectivas de la industria del cobre en el país son buenas y permiten predecir un incremento moderado en el consumo de cobre especialmente por parte del sector eléctrico, el fortalecimiento de la industria automotriz y la expansión de la industria de la

construcción. Las anteriores industrias son básicas para el desarrollo económico del país y por lo tanto es necesario mantener e incrementar las importaciones para abastecer el mercado local y exportar pequeños excedentes de productos terminados.

Del cobre utilizado por la industria colombiana un 15% corresponde a cobre reciclado en pequeñas fundiciones. Las perspectivas de abastecimiento de este producto tienden a mantener niveles similares a corto y mediano plazo.

RECOMENDACIONES

Del análisis realizado se puede establecer las siguientes recomendaciones:

- El Estado no debe realizar inversiones cuantiosas en la exploración de cobre especialmente en lo relacionado con proyectos de gran minería. El potencial geológico-minero es bajo y el país no presenta ventajas comparativas con respecto a otros productores, ubicados muchos de ellos en Latinoamérica.
- La exploración por parte de organismos estatales y compañías privadas

debe concentrarse en prospectos de sulfuros masivos de la Cordillera Occidental y los pórfidos del distrito de Murindó (Antioquia) por su alto contenido de oro y plata. En ambos casos se esperan depósitos a nivel de pequeña y mediana minería que justifiquen la producción de concentrados para exportación, pero es poco probable que soporten operaciones de fundición y refinación.

- A corto y mediano plazo, la industria nacional que consume básicamente cobre refinado seguirá dependiendo de las importaciones, por lo menos para un 85% de la demanda nacional. El auge de la construcción, el fortalecimiento de la industria automotriz y el uso en la elaboración de utensilios domésticos requiere un incremento de las importaciones para ampliar el desarrollo industrial.
- Con la política de internacionalización y apertura económica el sector minero nacional debe fomentar negociaciones de intercambio de productos mineros (swaps) donde el cobre importado de países como Chile y Perú pueda ser compensado con minerales de alta producción nacional como carbón o ferróniquel.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas Mundiales de Cobre en Mena.
TABLA 2. Demanda de Cobre Refinado en el Mundo Occidental.
TABLA 3. Producción de Cobre en Boca de Mina en el Mundo Occidental.
TABLA 4. Producción de Cobre Refinado en el Mundo Occidental.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Curvas de Producción y Consumo de Cobre en el Mundo Occidental e Incidencia de los Eventos Político Económicos Mundiales.
FIGURA 2. Curvas del Precio Nominal y Real del Cobre a lo largo del Siglo XX e Influencia de los Eventos Políticos-económicos Mundiales sobre el Valor del Metal.
FIGURA 3. Depósitos y Prospectos de Pórfidos Cupríferos
FIGURA 4. Tendencias de las Leyes de Cobre 1970 - 1995 (Tajo Abierto y Subterráneo).
FIGURA 5. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros de Cobre, más Significativos.

BIBLIOGRAFIA

- BRIGGS S. 1992. Cooper - Hanging on to Defy Recession 123rd Annual Survey and Outlook. Eng and Mining Jour. pp. 17 - 19.
- ENGINEERING AND MINING JOURNAL, 1995. The International Mining Magazine. Anual Commodities Survey and Outlook. Chicago.
- GUARIN G. Y ALVAREZ E. 1977. Geología y Geoquímica del Area de los Prospectos de Pórfidos Cupríferos en el Area de Murindó (Sectores La Rica, Jarapetó y Táparos), Municipio de Riosucio, Depto. del Chocó, I Parte. Informe 1738 INGEOMINAS, 169 p.
- GUILOFF H. 1990. Perspectivas para las Exportaciones Mineras Chilenas. Seminario de Comercio Exterior con los Estados Unidos. Santiago, Chile.
- IEC - INTEGRAL. 1985. Estudio para la Formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero.
- INGEOMINAS. 1987. Recursos Minerales de Colombia. 2a Edición pp. 123 - 185.
- JARAMILLO L. Y ESCOVAR R. 1980. Cinturones de Pórfidos Cupríferos en las Cordilleras Colombianas, en: Metalogénesis en Latinoamérica, Publ. IUGS. No. 5. pp. 75 - 99. México, D.F.
- JUNAC. 1988. Manual de Comercialización del Cobre Lima, Perú.
- JOHNSON C.H. 1990. Ranking Countries for Mineral Exploration.
- KPGM-PEAT MARWICK. 1991. Los Principales 200 Productos Importados por Colombia. Cía. de Negocios en Colombia en 1990. pp. 39 - 57
- METAL BULLETIN RESEARCH. (1993). Copper Market Update May 26, 27 p.
- MINERALCO S.A. 1991. Estadísticas del Sector Minero. Informe No. 7.
- MINERALCO S.A. 1992. Estadísticas del Sector Minero. Informe No. 8.
- MINERALCO S.A. 1992. Estrategias para el Desarrollo Minero del País. Informe Inédito 59 p.
- NACIONES UNIDAS, INGEOMINAS, ECOMINAS. 1984. Depósito de Cobre y Molibdeno de Mocoa, Putumayo, Colombia. Informe Preliminar de Factibilidad. COL/76/030/05. 173 p. 6 Anexos. Bogotá.
- ORTIZ F. 1990. El Roble - Un Yacimiento de Sulfuros Masivos Volcanogénicos. Boletín de Ciencias de la Tierra. No. 9 pp. 121-155. Medellín.
- PRAIN R. SIR. 1975. Copper-The Anatomy of an Industry Mining Journal Books, 298 p.
- RAMÍREZ O., ARIAS A., ALMINAS H. Y MOSIER E. 1975. Estudio Geoquímico del Agua de Pantanos - Pegadorcito, Mpios. de Frontino y Dabeiba. Depto. de Antioquia. Informe 1633 INGEOMINAS. 60 p.
- SILLITOE R., JARAMILLO L., CASTRO H. 1984. Geologic Exploration of a Molybdenum Rich Porphyry Copper Deposit at Mocoa, Colombia. Econ. Geol., v 79(1). pp. 106-123.
- STRAUSS S.D. 1991. Copper-1990 Confounds the Experts. 122nd Annual Survey and Outlook. Eng. and Mining Jour. pp. 17 - 20.
- THE NORTHERN MINER. 1992. Chile Well Established as Top Copper Producer. April Issue.

ZINC

Héctor Castro Páez ⁽¹⁾
Ubaldo Cosío ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El zinc es un elemento abundante en la naturaleza, asociado principalmente con plomo-cobre-cadmio y mercurio, debido al comportamiento geoquímico similar de estos elementos.

Tanto las rocas ígneas como las sedimentarias tienen valores significativos de zinc en sus minerales constituyentes tales como sulfuros, anfíboles, piroxenos, micas, turmalina y granates. El zinc está ausente como sulfuro en las primeras fases magmáticas y su contenido aumenta en las soluciones neumatolíticas e hidrotermales genéticamente asociadas con rocas ígneas que contienen cuarzo; en estas soluciones se pueden encontrar concentraciones significativas de blenda o esfalerita (ZnS), principal mena mineral de zinc.

Los depósitos de zinc se hallan, de acuerdo a su origen, asociados con yacimientos de plomo y cobre en ambientes geológicos diferentes de características específicas diversas y que en términos generales se pueden agrupar en tres categorías:

- Depósitos estratoconfinados en secuencias de rocas volcánicas y sedimentarias, Sulfuros Masivos Vulcanogénicos (SMVG) y Sedimentogénicos (SMSG).
- Depósitos estratoconfinados en secuencias calcáreas (Mississippi Valley deposits).
- Depósitos formados por procesos magmáticos.

Los dos primeros tipos de depósitos producen a nivel mundial, cerca del 80% del volumen total, correspondiendo a los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos y sedimentogénicos más del 50% del total.

Las menas de zinc asociadas con procesos magmáticos se manifiestan como mineralizaciones de sulfuros polimetálicos en filones de cuarzo. Las asociaciones minerales más frecuentes presentan Esfale-

(1) Geólogo, Ingeominas Santafé de Bogotá.

(2) Ingeniero Geólogo, Ingeominas Medellín.

rita (ZnS), Galena (Pbs), Calcopirita (CuFeS₂) y Pirita (FeS₂).

Las reservas mundiales de zinc reportan 162 millones de toneladas distribuidas en más de 40 países de todos los continentes, donde se destacan Canadá (30 millones), Australia (16 millones), Estados Unidos (15 millones), CEI y Sudáfrica (11 millones), Brasil (9 millones) y Perú (7 millones). Las manifestaciones de Pb y Zn conocidas en Colombia tienen un potencial de 714.000 toneladas, carecen de estudios de factibilidad y por lo general son subproductos de proyectos mineros de metales preciosos.

La explotación de sulfuros a nivel mundial se realiza con sistemas de minería subterránea, aunque excepcionalmente han sido explotados algunos yacimientos con métodos a tajo abierto (Open-Pit) y de colapso de bloques (Block-Caving).

Los depósitos estratoconfinados tipo sulfuro masivo y de segregación magmática tipo filoniano (hidrotermal) se explotan por métodos subterráneos de cámaras y pilares (Room and Pillar), excavación escalonada (Shrinkage), corte y relleno (Cut and Fill) y extracción de bloques cuadrados (Square Set).

No se han descubierto depósitos de sulfuros de zinc, económicamente explotables en Colombia, sino pequeñas manifestaciones asociadas a las explotaciones auríferas, destacándose Marmato, el Silencio, el Diamante, Las Nieblas y La Equis, localizadas en los departamentos de Caldas, Antioquia, Nariño, Quindío y Chocó respectivamente. En los depósitos men-

cionados el zinc es un subproducto y se exporta como concentrados de cobre, plomo y zinc (calcopirita, galena y blenda o esfalerita).

Estructura de la Industria

La esfalerita como mineral de mena del zinc, se muele dentro del proceso industrial, para ser concentrado mediante el empleo de métodos de tamizaje y flotación, y en ocasiones el uso de reactivos, los cuales incrementan el contenido del elemento. Los concentrados son tostados para producir óxido de zinc impuro, el cual se purifica con ácido sulfúrico, dando lugar a una solución de sulfato de zinc; esta solución se conduce a través de celdas electrolíticas, en las cuales el zinc se electrodeposita para posteriormente ser fundido y moldeado en láminas de "high grade" o "special high grade" de acuerdo con el contenido neto de zinc.

El zinc comercial es moldeado en placas de varios tamaños, formas y pesos, o en aleaciones con aluminio y cobre; la aleación más usada contiene 3,5 a 4,3% de aluminio, hasta 1,25% de cobre y entre 0,03 a 0,08% de magnesio.

El zinc es empleado en el latón de zinc con una proporción variable entre 5 y 40% y en bronce con una proporción de 4,5%.

También se fabrica polvo de zinc, óxido de zinc y varios productos químicos, para ser empleados en una gran variedad de mercados.

Características del Mercado

El zinc es un metal estratégico y por lo tanto los países industrializados del mundo occidental han regulado su mercado.

El consumo mundial de zinc para la década de los 80 alcanzó su punto más alto en 1988, con un volumen de 5,26 millones de toneladas, este valor declinó en los años 1989 y 1990. Para el año de 1991 se observó una recuperación en el consumo, ascendiendo a los 5,40 millones de toneladas métricas.

Para 1992 se presentó una leve disminución, debido principalmente a la recesión en Norteamérica y el Reino Unido. Por su parte la producción mundial del zinc, alcanzó en 1991 un valor máximo de 5,58 millones de toneladas, similar al observado en 1987, año en el cual se presentó un volumen de producción, de 5,34 millones de toneladas. Para 1992 se observó una declinación en la producción, debido a las clausuras de varias minas europeas; este factor influyó con un leve aumento de los precios, pasando de US\$0,50/libra en 1991 a US\$ 0,56/libra en 1992.

Proyecciones

El 35 a 40% de la producción minera mundial no podrá cubrir los costos de operación, debido a los bajos precios del metal; por esta razón deberán cerrar operaciones de explotación obligando al sector minero a disminuir la producción del zinc refinado en 150.000 toneladas anuales.

Los aumentos de producción esperados durante la década de los noventa serán el resultado de la expansión de la capacidad instalada y no al desarrollo de nuevos proyectos mineros.

Durante 1992 el consumo del zinc aumentó en un 2,5% promedio, proyectándose hacia finales de 1993, un incremento del 5%, debido al auge de la industria automotriz y de la construcción.

Se espera que para finales de 1993 la disminución en la producción registrada en el año anterior culmine, y los principales países productores de zinc refinado y en boca de mina como México, Canadá y Perú vuelvan a sus niveles promedios de oferta.

El precio a nivel mundial tiende a bajar anualmente y para 1993 se presentó en enero y junio un descenso del 13% para los valores registrados.

La demanda en Colombia será cada año mayor, dependiendo del crecimiento del PIB, sin embargo, el total de las importaciones en dólares ha rebajado, tal vez porque los precios CIF han disminuido.

En cuanto a la producción, se espera que ésta continúe con los niveles bajos que ha presentado, aunque alcanzando un leve aumento con respecto a las 277 toneladas de concentrado de zinc producidos en 1992.

Perspectivas de Desarrollo en el País

En Colombia no se han descubierto depósitos de plomo y zinc explotables a gran escala, sino yacimientos relativamente pequeños como la Equis en el Chocó, el Diamante en Nariño y Nieblas en Quindío.

La mayoría de las mineralizaciones conocidas corresponden a manifestaciones de pequeño tamaño, sin embargo a lo largo de las cordilleras Central y Occidental se han reconocido mediante estudios geológicos y geoquímicos anomalías que deben ser evaluadas.

Teniendo en cuenta los ambientes geológicos reconocidos en la región andina se puede implementar un proyecto de prospección geológica y geoquímica para:

- Sulfuros masivos en vulcanitas básicas
- Pb-Zn exhalativos en lodolitas negras
- Venas de Zn-Pb en carbonatos
- Cu, Pb y Zn disseminado en areniscas
- Skarn de Pb-Zn
- Enriquecimiento de Pb y Zn por metasomatismo de contacto
- Venas hidrotermales enriquecidas en Au-Pb y Zn

Las recomendaciones propuestas se pueden cumplir incrementando la cartografía geológica y la prospección geoquímica donde ya se tiene infor-

mación de mineralizaciones y complementando estos estudios hasta etapas de prefactibilidad o factibilidad económica.

SITUACION MUNDIAL

El zinc es un material estratégico y por tal motivo los países industrializados del mundo occidental han regulado su mercado, en el sentido de almacenar reservas del metal, con el propósito de proveer su suministro sólo para objetivos esenciales.

Aspectos Geológico-Mineros

El zinc tiene número atómico 30 y peso atómico de 65,38; con 5 isótopos (^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{67}Zn , ^{68}Zn y ^{70}Zn), con radio iónico de 0,71 Å para Zn^{+2} su valencia más estable. Su comportamiento en la naturaleza es similar al cadmio (Cd) y al mercurio (Hg), especialmente al primero y tiende a asociarse con el S para formar sulfuros.

El zinc es un elemento calcófilo, litófilo, sulfófilo y débilmente oxífilo. Y tiene naturaleza anfotérica, es decir, según el pH del medio donde actúa, se comporta como ácido o base débil.

AMBIENTE GEOLOGICO

El zinc no forma silicatos independientes en las rocas ígneas y metamórficas; sin embargo, los minerales de éstas como anfíboles, piroxenos, micas, turmalina y granates tienen valores en zinc; siendo más altos en las metamorfitas.

El contenido de zinc en los distintos ambientes se observa en la tabla 1.

El comportamiento del zinc en los procesos magmáticos es similar al del

dos de tal manera que son escasas las menas que contienen solamente uno de los dos elementos.

El zinc es un elemento constituyente en la estructura de aproximadamente 55 minerales, siendo la blenda o esfalerita la más importante mena del metal.

La esfalerita contiene trazas de Plata (Ag), Cadmio (Cd), Germanio (Ge), Galio (Ga), Indio (In) y Talio (Tl). El contenido de Cobalto, Hierro y Manganeso es indicativo de elevada temperatura de formación; el contenido de Galio e Indio son indicativos de temperaturas intermedias y el contenido de Talio en esfalerita es indicativo de temperaturas de formación bajas a intermedias.

TIPOS DE DEPOSITO

Los depósitos de zinc y plomo, se presentan juntos en la mayoría de los casos, generalmente asociados con

cobre. Estos ocurren en diferentes ambientes geológicos, con diversidad de características, pero se pueden agrupar en tres categorías básicas:

I. Depósitos estratoconfinados en secuencias de rocas volcánicas o sedimentarias.

Según la litología encajante (vulcanitas ó sedimentitas) estos depósitos se pueden dividir en:

♦ Depósitos en vulcanitas

♦ Depósitos en sedimentitas.

Según la estructura y textura, los depósitos estratoconfinados se pueden dividir en:

♦ Sulfuros masivos estratiformes

♦ Sulfuros diseminados estratoconfinados.

Ocurren en gran variedad de ambientes tectónicos, aunque en casi todos ellos, se observa una tectónica local extensional, asociada con un adelgazamiento de la corteza.

II. Depósitos estratoconfinados en secuencias calcáreas (tipo Mississippi Valley) corresponde a depósitos de sulfuros en venas y vacíos de disolución estratoconfinados en carbonatos.

III. Depósitos formados por procesos magmáticos. En este grupo se incluyen los siguientes tipos:

♦ Originados por metamorfismo de contacto (Skarn).

♦ Por reemplazamiento.

♦ En venas de Pb, Zn y otros metales.

Están asociados con arcos magmáticos con soluciones mineralizantes, zonas de subducción sometidas a un régimen de esfuerzos predominantemente compresionales.

Los depósitos de mayor tamaño y tenor son los de sulfuros masivos estratoconfinados en carbonatos, que alcanzan hasta 500 millones de toneladas cortas, con leyes superiores al 5%.

Tabla 1
CONCENTRACION DE ZINC EN DIFERENTES TIPOS DE ROCA Y AGUA

	p.p.m.
ROCAS IGNEAS	
Peridotita	56
Gabro	100
Diorita	70
Granodiorita	52
Granito	48
Rocas Igneas Máficas	100
Rocas Igneas Intermedias	60
Rocas Igneas Félsicas (corteza continental)	10
ROCAS SEDIMENTARIAS	
Areniscas cuarzo feldespáticas	30
Areniscas Lodosas Líticas	95
Shales (promedio)	100
Shales ricos en materia carbonosa	200
Carbonatos	20
Lodo marino	90
Arcillas Pelágicas	140
AGUAS	
Agua de mar	0.005
Agua Intersticial	0.012
Salmuera del Mar de Salton	780
Salmuera de formación profunda, Canadá	750
Salmuera de formación profunda, Missisipi	155

Fuente: Maynard, 1993

plomo. La cantidad de zinc en los sulfuros magmáticos tempranos es pequeña. La proporción que se separa del magma al mismo tiempo que los sulfuros tempranos, permanece en las soluciones residuales de la cristalización y pasa a las últimas etapas magmáticas. Por eso el zinc es concentrado en las fases neumatolíticas e hidrotermales que dan origen a ciertas menas de sulfuros.

Los minerales de Zn y Pb están asocia-

RESERVAS

Las estimaciones mundiales para Zn, indican reservas aproximadas de 149 millones de toneladas métricas (tabla 2). Incluyendo las reservas posibles se tendrán unos 5000 millones de tone-

Tabla 2
RESERVAS MUNDIALES DE ZINC
(PROBADAS 1992, x 1000 t)

AREA	VOLUMEN	%
Europa Occidental	16.390	11
USA, Canadá	41.720	28
Latinoamérica	19.370	13
Africa	13.410	9
Asia	14.900	10
Australia-Oceanía	17.880	12
Otros países con economía central planeada	25.330	17
TOTAL	149,000	100

Fuente: "International Perspective on Mineral Resources". Friedrich. W. Septiembre, 1992.

ladas métricas, de las cuales, la décima parte podrían ser explotadas bajo las circunstancias económicas actuales.

Las reservas medidas de zinc se distribuyen en más de 40 países en todos los continentes, teniendo Canadá, Estados Unidos (28%), Perú, México (13%), Australia (12%), Europa Occidental (11%), Asia (10%), Africa (9%) y países con economía previamente establecida (17%).

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

Otras fuentes no convencionales de Zinc, tienen reservas estimadas en 4850 millones de toneladas métricas, las principales se relacionan a continuación:

- Los depósitos del Kupferschiefer y estratos relacionados en Europa.
- Los depósitos de pirita zincífera en Arizona U.S.A.
- Los manifestaciones subeconómicas de bajo tenor.
- Los nódulos de manganeso de los fondos oceánicos y sedimentos mineralizados de las dorsales oceánicas (Mar Rojo).
- Los depósitos asociados con evaporitas.

TIPOS DE MINERIA

La mayor parte de la producción de Zinc se obtiene por métodos subterráneos de explotación, siendo los principales los de cámaras y columnas (Room and Pillar), excavación escalonada (Shrinkage), corte y relleno (Cut and Fill), extracción de bloques cuadrados (Square Set) y de colapso, de bloques (Block Caving).

A cielo abierto (Open Pit) son pocas las minas explotadas, encontrándose sólo algunas en Australia, Brasil, y Canadá.

Estructura de la Industria

La industria del zinc existe desde tiempos inmemorables. El bronce, producido a partir de zinc y cobre fue usado para la fabricación de artefactos por varias culturas antiguas. Los Romanos, dos siglos antes de la era cristiana, produjeron bronce y lo utilizaron para hacer monedas. En la China, se desarrolló cierta tecnología

para la metalurgia y fundición de zinc que fue exportada a Europa alrededor de 1730. La fundición comercial del zinc comenzó en 1806 con la introducción de la retorta horizontal en Lieja, Bélgica.

En 1860 comenzó la industria del zinc en los Estados Unidos, y en 1895, con el descubrimiento de gas natural en Kansas, se favoreció el desarrollo de las fundiciones, a partir de los concentrados producidos por los depósitos de plomo y zinc del distrito Tristate de Kansas, Oklahoma y del distrito de Missouri.

A comienzos del siglo XX, con la introducción comercial del proceso de flotación de espuma se hizo posible la recuperación de zinc de menas mezcladas con cobre, plomo y hierro y comenzó la producción de concentrados de alto grado.

El zinc metálico es usado en la elaboración de productos de latón, bronce y acero, en pigmentos y productos químicos, indispensables en la industria.

Los productos semielaborados de zinc corresponden a las aleaciones (latón, bronce y acero). También se utiliza en la industria de baterías secas, empaquetaduras, planchas litográficas y en la fabricación de ánodos. La industria del caucho es el primer consumidor de óxido de zinc, seguido por la industria química y la de sensibilización del papel para fotocopiado.

El mayor mercado de zinc está en la industria de la construcción, que lo utiliza galvanizado como acero estructural, y en techados, divisiones,

canales y vallas reforzadas. El acero galvanizado, es el material común para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado; también se usa en conductos de alambres eléctricos y de teléfonos. Las pinturas de polvo de zinc se utilizan para aumentar la protección del acero estructural.

El latón y el bronce se aplican en la construcción. La industria utiliza tuberías, grifos, válvulas y condensadores de latón.

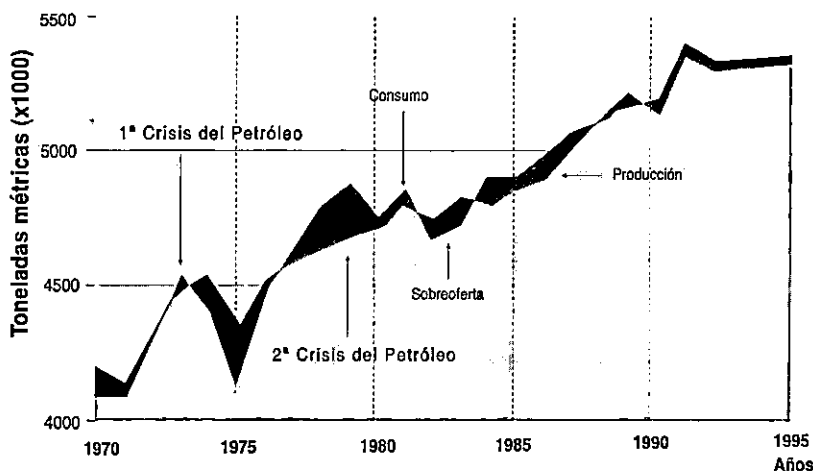
La industria del transporte que incluye automotores, aviones, barcos y bicicletas, es un consumidor importante de acero galvanizado. Aproximadamente la mitad del consumo de óxido de zinc es utilizado en la industria del caucho, especialmente para llantas. El hierro galvanizado, el latón, las láminas de zinc y el óxido de zinc son empleados también en equipos eléctricos.

Características del Mercado

Analizando la comercialización del Zinc a partir de 1970, se observa que eventos que incidieron en la economía mundial, como la primera y segunda crisis del petróleo, repercutieron en la oferta y demanda de éste metal; en la figura 1 se observa como la curva del consumo, se incrementó concordantemente con las crisis energéticas citadas, mientras que, en los años inmediatamente anteriores y posteriores se muestran períodos relativamente largos de sobreoferta. La explicación del fenómeno está soportada por el

CURVAS DE PRODUCCION Y CONSUMO DE ZINC EN EL MUNDO OCCIDENTAL

Figura 1



Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources" for Friedrich W. et al, 1992

cierre definitivo o labores a media marcha de algunas empresas productoras, en respuesta a la inestabilidad política resultante de estas crisis.

Durante 1991 existieron varios factores que afectaron el mercado del zinc, pero se debe incluir en primer término, el volumen neto de exportaciones procedentes de la antigua Unión Soviética con destino al mundo occidental. Durante este año se vieron limitadas las interrupciones de oferta, sin embargo para este mismo período se cerraron varias minas debido al alto costo de operación junto con pérdidas ocasionadas por una de las mayores huelgas declaradas en algunas minas canadienses. La actividad económica mundial tocó fondo al iniciarse la década de los noventa con una gran depresión en la demanda del Zinc, particularmente en U.S.A., Europa y Japón. Durante 1991 hubo un notable incremento en los inventarios, tanto de concentrados, como de zinc metálico.

El mercado para 1992, estuvo controlado hasta septiembre, por factores técnicos que causaron un retroceso, reflejado en la no escasez física de metal y las existencias de la LME (London Metal Exchange) aumentaron durante 1992 en 305.300 toneladas métricas.

Otro evento que incidió en el mercado de Zinc fueron las exportaciones de metal refinado procedente de los países del Bloque Oriental, limitando las interrupciones de oferta, incrementando la demanda. Teniendo en cuenta que durante el año hubo cierre total de mercado en respuesta se dio una buena oferta para este período.

DEMANDA

El Zinc es el tercer metal en importancia de los no ferrosos después del aluminio y el cobre. El consumo del mundo occidental decreció en 0,8% durante 1992 debido a la lenta actividad económica de Alemania y Japón. La

Tabla 3
CONSUMO DE ZINC REFINADO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(x1000t)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Europa	1.854	1.846	1.897	2.005	1.920	1.857	1.945
Estados Unidos	1.089	1.060	992	933	1.020	1.125	1.220
Japón	774	769	814	845	765	719	702
Otros Países	1.547	1.516	1.514	1.619	1.637	1.827	1.897
TOTAL	5.264	5.191	5.217	5.402	5.398	5.528	5.764

Fuente: Engineering and Mining Journal. Marzo, 1995.

demanda en Europa se redujo en 2,7% y en Japón 9,5%. En contraste con lo anterior la industria del metal se incrementó en 9,3% en los Estados Unidos y en promedio un 0,4% para otros países.

Aunque las condiciones económicas del Japón impactaron negativamente a los países del Oriente Asiático, ellos aún muestran alto crecimiento económico, incrementando el consumo de zinc durante 1992.

La mayoría de los metales tiene una utilidad de uso dominante, que para el zinc está representada en la galvanización con un 47% del total de la demanda, le sigue con 19% el zinc utilizado en la fabricación de latón y el zinc fundido o moldeado en aleaciones con 15%.

Del porcentaje total de zinc usado en galvanización el 65% va con destino a la fabricación de acero electrogalvanizado en hojas y barras frecuentemente bañadas en depósitos de Zinc-níquel y Zinc-hierro. Este acero recubierto difícilmente se corroe u oxida y es empleado en la industria de la construcción y en la fabricación de automóviles.

La cantidad consumida se cuadruplicó en la última década y actualmente supera las 300.000 toneladas métricas.

El consumo del zinc en el mundo occidental alcanzó su punto más alto en 1988 con 5,26 millones de toneladas (Mt), luego declinó ligeramente a 5,22 Mt; durante 1990 y a partir de 1991 se observa una gran recuperación (Tabla 3).

El máximo consumo del zinc como se mencionó anteriormente, está en el sector de la galvanización y contará con el 47% de la demanda del EMEC (Establish Market Economy Countries)

y se espera que para 1995-1996 todo el zinc estará allí. El sector industrial también es un gran consumidor, sin embargo, la industria automotriz fue la que mostró el mayor incremento.

El segundo consumidor y que constituye el 19% de la demanda, lo conforma el latón y bronce. El tercer consumidor está en las aleaciones con el 15% de la demanda. Le siguen en su orden los semimanufacturados con el 6% y finalmente los químicos; estos dos últimos son empleados en los países más desarrollados como Francia, Alemania y Japón.

En resumen, los expertos ven mejores perspectivas en el consumo del zinc, para la década de los 90; aunque existió una pequeña declinación en 1993, se espera un incremento anual entre 1,5% y 2,5% en el consumo para 1993 y 1994.

OFERTA

La producción de zinc en el mundo occidental declinó durante el año 1993 en un 0,5% (Tabla 4). Hubo un mínimo de pérdidas causadas por huelgas y problemas en la produc-

Tabla 4
PRODUCCION MINERA DE ZINC EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(x1000t)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994p
Europa	1.065	998	950	924	770	650	557
Canadá	1.347	1.216	1.203	1.148	1.305	1.007	940
Australia	739	811	884	048	1.013	1.007	986
Perú	435	598	598	638	602	665	674
Estados Unidos	256	288	543	547	552	513	616
México	288	284	307	317	352	359	381
Japón	147	132	127	133	134	119	98
Otros Países	725	767	784	823	911	908	866
TOTAL	5.052	5.094	5.396	5.586	5.678	5.228	5.118

Fuente: Engineering and Mining Journal. Marzo, 1995. p=preliminar.

Tabla 5
PRODUCCION DE ZINC REFINADO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(x 1000t)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994p
Europa	2.150	2.125	2.144	2.194	2.199	2.179	2.098
Japón	678	665	687	731	729	696	648
Canadá	703	670	592	661	672	662	695
Estados Unidos	330	358	358	377	400	382	406
Australia	302	294	303	326	332	317	326
México	191	194	99	189	151	209	211
Perú	125	138	118	154	124	158	172
Otros Países	760	771	775	753	838	847	825
TOTAL	5.239	5.215	5.176	5.405	5.445	5.450	5.381

Fuente: Engineering and Mining Journal. Marzo, 1995. p= preliminar.

ción del metal. Se presentaron varios cambios durante el año 1992, relacionados con la capacidad minera, dentro de los cuales se puede mencionar la apertura de 266.000 tm y el cierre de 99.000 tm dando un incremento positivo de 167.000 tm. Dos tercios de las minas clausuradas están ubicadas en Alemania y el tercio restante corresponde a tres pequeñas minas canadienses y una mexicana. En contraste con lo anterior seis minas nuevas fueron abiertas, donde se destaca la mina de Bismark en Méjico con una producción de 58.000 tm. Además, hubo durante el último trimestre de 1992 la reapertura de algunas minas y la expansión de otras que nunca fueron cerradas. Durante 1992, los inventarios de concentrados de zinc en el mundo occidental decrecieron significativamente debido a contratos de doble fundición con fundidores de la Comunidad de Estados Independientes-CEI. El efecto real fue una reducción de concentrados y un incremento en los inventarios de Zinc metálico.

Canadá continuó liderando la producción mundial seguido por Australia

y Perú. Se espera la apertura del depósito Mc Arthur River con una producción de 160.000 m para mediados de 1995.

La producción minera del zinc en 1993 alcanzó 5.288Mt (Tabla 4). Países como Australia, Canadá, Perú y Estados Unidos produjeron las 2/3 partes de la oferta total y su dominio continuará por muchos años.

La producción de zinc refinado, alcanzó en 1993 (Tabla 5), 5.450 tm. Japón, se destaca como el país mayor productor de metal refinado del bloque occidental (696 Mt).

Se observa una tendencia estable en la producción del metal, sin embargo se pronostica una tendencia alcista en forma gradual durante la década del 90, por la expansión en la capacidad instalada más que por desarrollo de nuevos proyectos mineros.

Cerca de 2,0 Mt de metal refinado fueron vendidos por el EMEC durante 1991 de los cuales el 35% provenía de Australia y Canadá. La cantidad de

concentrados de zinc vendidos fue cerca de 2,5 Mt; mostrándose Australia (0,59 Mt) y Canadá (0,71 Mt) como los principales exportadores. Estos países con Perú y Estados Unidos exportan el 80% de los concentrados; siendo los mayores consumidores los fundidores (smelters) de Europa y Japón.

No obstante los pronósticos, la producción de Zinc refinado en el mundo occidental no declinó (5,45 millones de toneladas métricas) durante 1993, posiblemente atribuido a la estabilidad en la producción de Méjico y Perú. En el resto del mundo occidental los niveles de oferta se mantuvieron similares a los años anteriores. En enero de 1993, la planta Overpelt localizada en Bélgica, cerró su producción de 120.000 tm debido a los bajos precios del metal y otras plantas operaron por debajo de su capacidad efectiva.

Durante 1993, las exportaciones de Zinc metálico procedentes de países orientales alcanzaron 457.000 tm. La razón principal de este incremento fue causado por la doble fundición en la CEI de concentrados de zinc procedentes del sector occidental con destino nuevamente a la industria de este sector.

La actividad económica de los dos últimos años y la demanda de zinc se ha concentrado en Rusia y otros países del Este, mientras la oferta se ha mantenido arriba en relación con las exportaciones del metal hacia Occidente.

PRECIOS

Después del ascenso de los precios del zinc durante la primera mitad de 1990, cuando en el mercado londi-

nense alcanzó US\$1.879/t, los niveles durante 1991 llegaron a ser los más bajos en muchos años, cayendo por debajo de US\$1.000/t en el mes de octubre. El precio promedio para 1991 fue de US\$1.116/t mostrando un descenso del 26% en comparación con el año inmediatamente anterior (Figura 2).

La lista de precios para los productores de USA mantuvo una tendencia similar, con un promedio anual de US\$0,53/lb., mostrando una reducción del 29%.

Al iniciarse las operaciones bursátiles en 1990, el precio del zinc se mantuvo en US\$ 0,59/lb. y los inventarios más bajos de lo normal. Las predicciones para 1990 se basaron en la recesión económica en Norte América y el Reino Unido, con un crecimiento considerable en Europa Occidental y Asia. El consumo del zinc permaneció constante con un ligero incremento del 0,3%. El precio promedio del zinc durante 1990 fue de US\$0,69/lb.

En 1992 el precio promedio del zinc en L.M.E. (London Metal Exchange) fue US\$ 0,56 / lb., un poco superior al precio de 1991 que fue de US\$ 0,50/ lb.

El crecimiento de la demanda en los países del mundo occidental implicó un ligero aumento en el precio del metal, (US\$0,6/lb) para 1993 con tendencia a subir en forma gradual para los próximos años.

El precio promedio del zinc (US\$45,3 /lb) en el primer trimestre de 1994 alcanzó un ligero incremento con relación al precio de cierre de 1993 que fue de US\$43,7/lb.

Para finales de 1994 se espera un precio promedio de US\$50/lb. El factor principal que contribuyó al incremento del precio en el último año fueron las alzas especulativas y las grandes inversiones en compra de zinc, por parte de la DLA (Agencia de la Defensa Logística de los Estados Unidos).

Proyecciones

Los expertos consideran que debido a los precios actuales del metal, el 35-40% de la producción minera, no puede cubrir los costos de operación. Los precios bajos del metal pueden forzar a los fundidores a suspender su producción y en 1994 la producción de zinc refinado puede disminuir en 150.000 toneladas. Con el sobre costo de las regulaciones ambientales, este estimativo puede considerarse conservador. Para 1993 el crecimiento en el consumo del zinc refinado ascendió en 24%. El crecimiento de la producción alcanzó cerca del 0,09% para

llegar a 5,45 Mt a un precio promedio de US\$0,44/lb para finales del año 1993, con tendencia a subir en forma gradual lo cual permitiría que algunas nuevas minas entren en la producción.

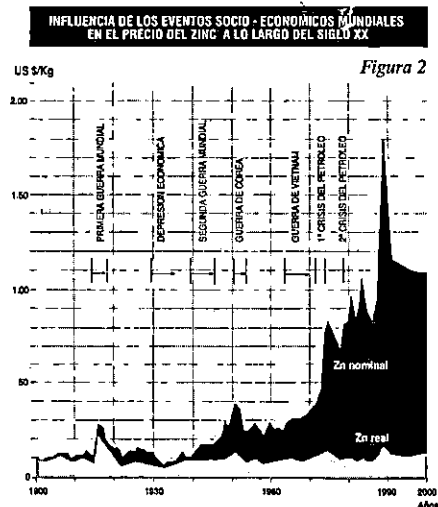
Los cambios políticos y económicos en Europa Central y CEI llaman la atención del mundo occidental, sobre los efectos que éstos puedan causar a la industria de metales no ferrosos (cobre, plomo, aluminio y zinc) hacia el desarrollo de una economía de mercado (Figura 2).

La producción de Zn metálico ha continuado incrementándose con respecto a la de la década de los 80.

NIVEL NACIONAL

Los estudios de Boussingault (1830) mencionan la existencia de mineralizaciones de plomo y zinc en el territorio nacional. No obstante, en Colombia no se han identificado depósitos de sulfuros de zinc económicamente explotables; se han encontrado yacimientos auríferos ricos en sulfuros y sulfosales de Ag asociados con sulfuros de zinc y plomo los cuales son explotados como subproductos de la minería del oro. Se destacan los depósitos de El Silencio y Providencia en Antioquia; Marmato en Caldas; El Diamante en Nariño y la Equis en Chocó (Figura 3).

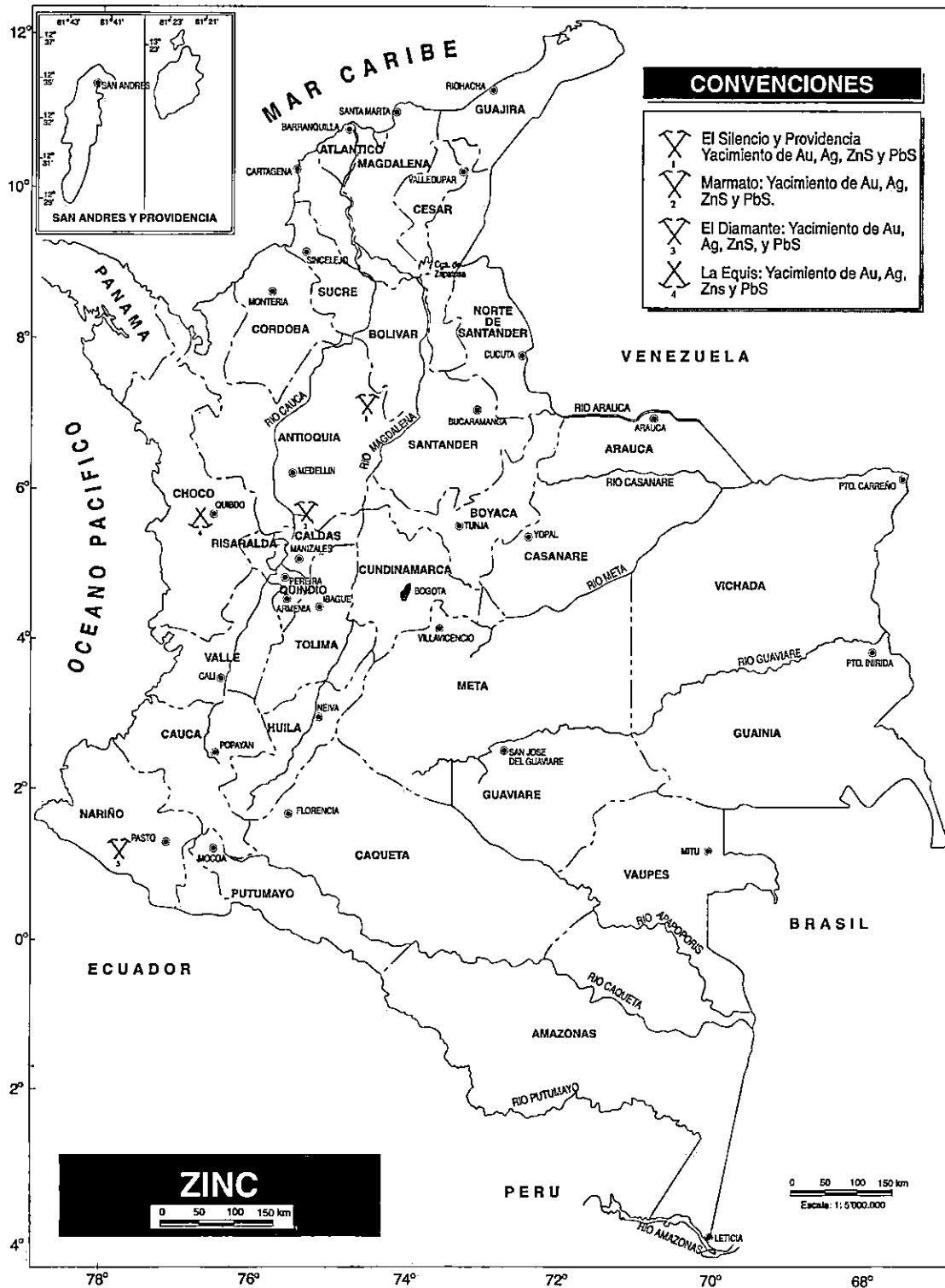
Algunas áreas con mineralizaciones conocidas, tienen estudios geológicos y geoquímicos que muestran anomalías de interés para la exploración en detalle con perforaciones; pero hay



Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources" for Friedrich W. et al, 1992

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA ZINC

Figura 3



otras de tamaño pequeño que no han sido exploradas ni definidas adecuadamente.

Aspectos Geológico-Mineros

Las mineralizaciones de zinc y plomo están la mayoría de las veces, acompañadas de cobre, ya que son metales genéticamente relacionados.

La relación prospectos y manifestaciones minerales de plomo y zinc en Colombia puede ser consultado en los siguientes documentos:

- Mapa metalogénico de Colombia (Barrero, 1976)
- Prospectos y manifestaciones minerales de Colombia (Mutis, 1983)
- Evaluación de los recursos minerales no combustibles de Colombia (Ingeominas-U.S.G.S, 1986)
- Recursos minerales de Colombia, Tomo I (Ingeominas, 1987)

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO

• Manifestaciones de plomo-zinc-cobre en Colombia se encuentran presentes en:

- Vulcanitas Máficas. En la Cordillera Occidental en diabasas y basaltos, del Grupo Diabásico, del Grupo Dagua y Grupo Cañasgordas del Cretáceo superior. Estas unidades por su ambiente geológico de formación son favorables para la existencia de depósitos de sulfuros masivos estratiformes de Cu y Zn.
- Vulcanitas Intermedias. En la Cordillera Occidental las rocas de composición básica intermedia del

Complejo Santa Cecilia-La Equis del Terciario Inferior, presentan un ambiente favorable para la prospección de Cu-Zn.

- En lodolitas negras. En la Cordillera Oriental, las secuencias sedimentarias del Crétaceo, que localmente contienen intercalaciones de evaporitas y de lodolitas, son ambientes favorables para encontrar mineralizaciones diseminadas o lentes de sulfuros de Cu-Zn-Pb y Fe.
- En calizas o arenitas calcáreas. En la Cordillera Oriental, las secuencias sedimentarias de caliza o areniscas calcáreas del Cretáceo y del Paleozoico Superior, constituyen ambientes favorables para mineralizaciones de Zn, Pb y Cu. En éstas, las mineralizaciones de Zn y Pb, como sulfuros a veces acompañadas por barita y fluorita ocurren como relleno de fracturas o cavidades, diseminadas o en la matriz de brechas.
- En arenitas. Se presentan en la Cordillera Oriental y en la Serranía de Perijá. Las mineralizaciones ocurren en unidades detríticas depositadas en ambientes continentales o litorales con predominio de condiciones oxidantes y localmente de condiciones reductoras durante el Jurásico y comienzos del Cretáceo.
- En zonas de contacto de cuerpos plutónicos. Estas mineralizaciones están localizadas en la Cordillera Central, en los terrenos de Payandé, Cajamarca y Cauca-Romeral. Las mineralizaciones ocurren cerca de los contactos de intrusiones félsicas o intermedias con calizas o metacalizas de la Formación Payandé u otras formaciones mesozoicas.
- En Metamorfitas. Estas mineraliza-

ciones ocurren en rocas metamórficas de bajo grado; esquistos paleozoicos del Terreno Cajamarca en la Cordillera Central y en los Macizos de Santander y Quetame. En pocos casos se han hallado en metamorfitas de grado medio y alto.

- En plutonitas. Están contenidas en cuerpos plutónicos félsicos a intermedios que afloran en la Cordillera Central, el Macizo de Santander y algunos cuerpos en la Cordillera Occidental. La distribución regional de las mineralizaciones coincide con los cinturones magmáticos donde se han identificado prospectos para pórfidos cupríferos.

RESERVAS

En Colombia no se han evaluado sistemáticamente las reservas de plomo y zinc; las mineralizaciones en las cuales se han estimado reservas son pocas y aparecen en la tabla 6.

TIPOS DE MINERIA

Siendo un subproducto de la minería de oro, su explotación y beneficio están directamente relacionados a los sistemas utilizados en la explotación de los metales preciosos filonianos.

Estructura de la Industria

La producción de zinc es exportada en forma de concentrados de Pb, Zn y Cu, debido a que en el país no se posee la tecnología necesaria para refinarlo y separarlo.

Las manifestaciones de zinc en Colombia están en combinación de Pb y Cu en depósitos filonianos de oro, o

Tabla 6
RECURSOS DE PLOMO Y ZINC EN COLOMBIA

PROSPECTO	RESERVAS INDISCRIMINADAS		TENORES	REFERENCIAS	
	MEDIDAS	INDICADAS INFERIDAS			
Q. Cedrilla (Santander)		100.000	1,33%Pb 0,57% Zn 0,04%Cu	Ward (1970)	
Las Nieblas (Quindío)	7.056	445.109	5 a 10%	Barrero et al, 1971	
Riosucio-Marmato (Caldas)	150.710	324.763	1.082.760	0,3%Pb 5,4%Zn 10,19% t / Au 26,76% t / Ag	Ecominas (1982a)
La Equis (Chocó)	111.000	12.000	1.600.000	22%Zn 4%Pb 55,99%/t / Ag 34,29%/t / Au	Melo (1984) Mining Annual Review (1986)
El Diamante (Nariño)	451.200			1,68% Zn 0,11% Pb 0,22% Cu 2,5% As 7,09 t /Au 11,0 t / Ag	JICA (1984)
El Rincón -Junín (Cundinamarca)	1.300		1.610	El Tonelaje se refiere a sulfuros de Zn	

en depósitos de sulfuros masivos. Por lo anterior, es explotado como sub-producto de oro o de Cu; la principal mena es la esfalerita, la cual se muele para preparar concentrados. Inicialmente se tritura mediante una combinación de molinos de mandíbulas y de barras para hacer una primera reducción de tamaño. En una segunda etapa se usan molinos de varillas. En el proceso más fino se utilizan molinos de bolas. Durante las etapas de la molienda se agregan reactivos; los minerales oxidantes de zinc, tales como carbonatos y silicatos, requieren la adición de sulfuro de hierro (Rathajen, 1983).

La flotación es el método más usado para recuperar concentrados. El esquema general consiste en:

- Flotación de los minerales de plomo-cobre y decantación de los minerales de zinc y hierro.
- Separación, por flotación, de los minerales de plomo y cobre.
- Activación y flotación de esfalerita para separarla de los minerales de hierro y ganga.
- Flotación de pirita, si se desea su recuperación.

APLICACIONES

El zinc en Colombia se utiliza en :

- Galvanizado: Para láminas, tiras, alambre, tubería, conductos, conexiones de tubería, tanques y contenedores, formas estructurales, revestimiento de alambre y otros.
- Productos de latón y bronce.
- Oxido de zinc: Para agricultura, cerámica, productos químicos para

pintura, fotocopiado e industrias del caucho.

- Zinc laminado.

Características del Mercado

El mercado de concentrados del zinc en Colombia no ha tenido características definidas, debido a:

- La producción ha sido intermitente, con tendencia a la disminución.
- La producción es exportada, ya que el país no tiene tecnología para la refinación y separación de los demás metales.
- Productos elaborados que dentro de sus componentes contienen zinc, son importados y registrados en otros items.

DEMANDA

La demanda de zinc se mide por el volumen de sus importaciones. Entre 1970 y 1982 el valor de las importaciones creció a un ritmo de 7,5% pasando de US\$8.600.000 en promedio anual para el período 1970-1972 a US\$16.400.000 promedio anual para el período 1973-1982; es decir se duplicó en ese tiempo y posteriormente se estabilizó, ya que para 1990 el valor de las importaciones fue de US\$16.237.920.

La aparente disminución de las importaciones puede estar relacionada con:

- Varios productos elaborados y semi-elaborados que entran al país no son registrados en las estadísticas para zinc, como por ejemplo en la Industria del transporte y las aleaciones.
- Es posible que el volumen de las importaciones de metal en bruto se

haya incrementado, pero los precios CIF del metal tienen una tasa negativa de crecimiento.

Castiblanco y Benavides (1985) hicieron un estimativo del consumo hasta el año 2005, sin considerar cambios en la estructura actual del consumo del metal (Tabla 7). Las estimaciones están basadas en tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB) del 6% y 4%. En el primer caso la demanda se cuadruplicará, en el segundo caso la demanda se duplicará. Estos valores podrían disminuir si se tiene en cuenta que el Producto Interno Bruto (PIB) en el periodo 1985-1992 ha sido menos del 4% en promedio anual.

OFERTA

El total de la producción minera de concentrados reportados en la tabla 8 es exportada. Durante el periodo 1970-1976 el valor total de las exportaciones de zinc correspondieron al 5% del total de las importaciones. Para 1982 el valor de las exportaciones fue el 1% del valor de las importaciones. Para 1992 este valor fue mu-

cho menor y tiende a disminuir debido a que las exportaciones de concentrados de zinc han sido interrumpidas por la parálisis de las explotaciones mineras a nivel nacional; por lo anterior, la contribución de las exportaciones de zinc a la balanza de pagos no se tuvo en cuenta por ser muy baja comparada con el efecto de las importaciones.

PRECIOS Y PROYECCIONES

Castiblanco y Benavides (1985) estimaron los costos de las importaciones de zinc en bruto hasta finales del presente siglo (tabla 8) usando dos precios; el primero un promedio ponderado del precio CIF de estas importaciones, durante los años 1981, 1982 y 1983, el segundo un promedio de los precios internacionales en Estados Unidos en los años 1981-1983; los cálculos según los precios internacionales fueron del orden de US\$ 0.40 /lb.

Las proyecciones prevén que el valor de las importaciones se multiplicará por un factor entre 2.5 y 3.8 en el lapso 1985-2005.

Perspectivas de Desarrollo en el País

El zinc es un metal básico en la industria nacional, ya que es fundamental en la industria automotriz, textil, química, de la construcción y del caucho, por esto es necesario que se hagan análisis económicos, con base en estadísticas sobre importaciones y exportaciones de este metal para que se identifiquen las necesidades nacionales y se regularice su mercado.

Tabla 8
VOLUMEN DE LA PRODUCCION MINERA NACIONAL DE CONCENTRADOS DE ZN

1989	1990	1991	1992
723 t	356 t	266 t	277 t
\$ 2,6 mill.	\$ 2,5 mill.	\$ 2,9 mill.	\$4,7 mill.

Fuente: Boletín Minero Energético MME, 1993.

Tabla 7
PROYECCIONES DEL VALOR DE LAS IMPORTACIONES (1985-2005)

Año	Producto Interno Bruto Total (Millones de \$ de 1975)		Consumo Metal en Bruto (Tons.)		Producto Concentrado para exportar (Tons. concentrado)	Valor Importaciones de Metal en Bruto			
						(Millones de US\$ de 1983)			
						Alta		Baja	
						Precio Bajo	Precio Alto	Precio Bajo	Precio Alto
1990	777426	706800	22946	20473	1094	18.9	20.7	16.9	18.4
1995	1046237	859930	32155	25	1094	26.6	28.9	21.4	23.3
2000	1392252	1046237	44479	323		36.7	40.0	26.7	29.1
2005	1863147	127297	60971	4029		50.5	54.9	33.3	36.3

Fuente: Castiblanco y Benavides, 1985.

Nivel Minero

El país tiene posibilidades de aumentar la producción de concentrados de zinc, para esto es necesario incentivar la minería del oro filoniano donde se obtiene como subproducto.

Nivel Industrial

La industria nacional debe seguir abasteciéndose del mercado mundial. La posibilidad de una industria que refine y separe el zinc, está directa-

mente relacionada al aumento en la producción y al incremento en la demanda industrial.

RECOMENDACIONES

No se han descubierto en Colombia depósitos de plomo y zinc explotables a gran escala, sólo manifestaciones pequeñas. Para mejorar esta situación se recomienda:

- Incrementar la cartografía geológica y geoquímica de las áreas donde se tiene conocimiento de las mineralizaciones y en los ambientes geológicos propicios para su ocurrencia y llevar estos estudios hasta etapas de prefactibilidad y factibilidad económica.
- Para tener un mejor conocimiento del mercado del zinc y en general de los metales se deben mejorar las estadísticas de importaciones, exportaciones y precios a nivel nacional.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Concentración de Zinc en diferentes tipos de roca y agua.
- TABLA 2. Reservas Mundiales de Zinc.
- TABLA 3. Consumo de Zinc refinado en el Mundo Occidental (x 1000 t)
- TABLA 4. Producción Minera de Zinc en el Mundo Occidental (x 1000 t)
- TABLA 5. Producción de Zinc Refinado en el Mundo Occidental (x 1000 t)
- TABLA 6. Recursos de Plomo y Zinc en Colombia .
- TABLA 7. Proyecciones del Valor de las Importaciones (1985-2005) .
- TABLA 8. Volumen de la Producción Minera Nacional de Concentrados de Zinc.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Curvas de Producción y Consumo de Zinc en el Mundo Occidental .
- FIGURA 2. Influencia de los Eventos Socio-económicos Mundiales en el Precio del Zinc a lo largo del Siglo XX
- FIGURA 3. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Zinc.

BIBLIOGRAFIA

- BARRERO, L. O., LOZANO, H. 1976 Mapa Metalogénico de Colombia. Ingeominas.1:2.500.000. Bogotá.
- BOUSSINGAULT, J.B., 1930. Análisis de la Blenda negra de Marmato. Anal de Fis. y Quim. (París). Inst. Geol. Andes. Colombia (45) 312-316, Bogotá.
- CAMMOROTA, V. A. JR., 1983 -Zinc In Mineral Facts and Problems. pp 1025 -1042.
- CASTIBLANCO, H., BENAVIDES, F., 1985. Estudios para la formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero. Plomo y zinc área económica. Consorcio Instituto de Estudios Colombianos INTEGRAL, 77 p. Bogotá.

DANE, 1985. Exportaciones e Importaciones primer semestre 1984. 367 p. Bogotá.

DANE, 1991. Importaciones en 1990. Bogotá.

ENGINEERING AND MINING JOURNAL, 1991,1992,1993 y 1995. The International Mining Magazine. Anual Commodities Survey and Outlook. Chicago.

FRIEDRICH W. et al., 1992. International Perspective on Mineral Resources.

GOLDSCHMIDI, V.M., 1937. The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerale and Rocks. Jour. Chem-Socp.665

INGEOMINAS - U.S.G.S., 1986. Evaluación de los Recursos no Combustibles de Colombia. Inf. de Proyecto Cooperativo Ingeominas U.S.G.S. Ed. Prel. Publ. Geol. Esp. Ingeominas No. 14-II. 55 p. Bogotá.

INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia. Publ. Geol. Esp. 1.Segunda Edición p.490-565. Bogotá.

LEVINSON, A. A., 1974. Introduction to Exploration Geochemistry. Appl. Publ. Ltda.Calgary, 612 p. Canadá.

MINING ANNUAL REVIEW, 1992. Metals and Minerals. London.

MUTIS, J. V. 1983 Catálogo de Yacimientos, Prospectos y Manifestaciones Minerales de Colombia. Publ. Geol. Esp. Ingeominas No. 13. 462 p. Bogotá.

RANKAMA, L. Sahama. 1 h 6., 1954. Geoquímica Aguilar, 862 p. Madrid.

WEDEPOHL, K. H., 1969 Composition and Abundance of Common Sedimentary Rocks. in Handbook of Geochemistry, vol. I, p.250-271

WEDOW, H. Jr., et-al, 1973 Mineral Resources U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 820. p. 697-710. Washington.

PLOMO

Rosalba Salinas E. ⁽¹⁾
Héctor Castro Páez. ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El plomo es uno de los elementos que más aplicaciones ha tenido históricamente, es el quinto metal en importancia y volumen de consumo a nivel mundial. Su comportamiento es semejante al del zinc, y sus minerales se encuentran asociados en la mayoría de los depósitos. El plomo se obtiene como subproducto en los yacimientos de cobre, oro, plata y flúor. Sus características de metal duro, maleable, con bajo nivel de fusión y gran durabilidad le dan una amplia gama de aplicaciones a nivel industrial.

Las rocas ígneas tienen un alto contenido de plomo, principalmente en forma de galena, la principal mena mineral. Así mismo las rocas sedimentarias, en especial las arcillas de aguas oceánicas profundas, contienen un elevado porcentaje del metal. El plomo se encuentra ausente como sulfuro en las primeras fases magmáticas, presentándose en forma abundante en soluciones neumatolíticas e hidrotermales asociadas a las últimas etapas de la evolución magmática donde se forman las rocas ígneas ricas en cuarzo.

La principal mena del plomo es la galena, de fórmula PbS , la cual contiene plata, generalmente como burbujas de Argentita (Ag_2S); cuando el porcentaje es alto (>2%), se considera la galena como mena de plata.

Las condiciones geológicas favorecen la aparición de plomo y zinc conjuntamente, ya que su génesis es la misma, a pesar de su disparidad química. Los principales ambientes geológicos en los cuales se presentan las mineralizaciones se pueden agrupar en :

- Depósitos estratoconfinados en secuencias de rocas volcánicas y sedimentarias; (Sulfuros Masivos Vulcanogénicos (SMV) y Sedi-mentogénicos (SMS).
- Depósitos estratoconfinados en secuencias calcáreas (Mississippi Valley Deposits).

(1) Ingeniero Geólogo, Ingeominas Medellín.

(2) Geólogo, Ingeominas Santafé de Bogotá.

- Depósitos formados por procesos predominantemente magmáticos.

Los depósitos estratoconfinados, se manifiestan en secuencias estratificadas de rocas sedimentarias o volcánicas; para los sulfuros de plomo, la asociación es predominantemente sedimentogénica calcárea, en comparación con la asociación vulcanogénica propia del cobre.

Dentro de los depósitos formados por procesos magmáticos se incluyen los de pirometasomatismo de contacto (Skarn); depósitos enriquecidos en Pb y Zn por reemplazamientos y las venas hidrotermales de plomo y zinc.

Es común la asociación Plomo-Zinc, pero además se encuentran agrupados con éstos, otros elementos como oro, plata, cobre, bismuto y antimonio.

Las reservas mundiales de plomo alcanzan una cifra de 70 millones de toneladas, distribuidas entre Estados Unidos y Canadá con 27%, Australia y Oceanía con 15%, Europa Occidental con 9%, Latinoamérica con 8%, África con 7%, Asia con 3% y otros (países con economías planeadas) 31%.

La explotación del plomo, ya que es un subproducto de la minería de oro filoniano, se realiza principalmente con métodos de minería subterránea, aunque en ocasiones se emplean los métodos de tajo abierto (Open-Pit) y de colapso de bloques (Block-Caving).

Los principales métodos de minería subterránea son los de cámaras y columnas (Room and Pillar), excavación escalonada (Shrinkage), corte

y relleno (Cut and Fill) y extracción de bloques cuadrados (Square Set), siendo el primer método citado, el más empleado en Colombia.

Colombia no posee en la actualidad depósitos de plomo de importancia económica. Solamente en la Mina El Silencio localizada en Segovia, Antioquia, se han extraído volúmenes altos de concentrados de plomo, como subproducto en el proceso de la extracción de oro; así mismo, aunque en cantidades menores se ha explotado plomo en Marmato (Caldas), El Diamante (Nariño) y La Equis (Chocó).

Estructura de la Industria

La galena como principal mena del metal se tritura en etapas con el fin de disminuir progresivamente el tamaño empleando diversas clases de molinos; inicialmente se usa el de mandíbulas y barras, posteriormente el molino de varillas y por último el molino de bolas.

Simultáneamente se hace una preconcentración empleando métodos de flotación y tamizaje a lo largo de todas las etapas, para incrementar la recuperación y aumentar el grado de concentración del mineral beneficiado. Se emplean reactivos para los procesos finales de concentración.

Los concentrados de plomo obtenidos son sometidos a tostión (sintering) y a fusión logrando la refinación parcial. El producto resultante es fundido con coque para producir plomo metálico el cual se trata en una caldera de escoriación, donde se

extrae el óxido de zinc. Posteriormente se emplea la planta de vaporización, para reducir las impurezas y remover el cobre.

El plomo obtenido, está libre de la mayoría de impurezas, aunque contiene algunas trazas de plata, cobre y menos cantidades de arsénico, antimonio y zinc, los cuales se remueven mediante reactivos y procesos electro-líticos.

El plomo reducido es moldeado en lingotes, o aleado con otros metales tales como: Antimonio, Calcio, Estaño, Selenio, Cadmio y Cobre.

Características del Mercado

El uso principal del plomo está dirigido a la industria de las baterías, municiones y como aditivo en la gasolina. Existe tendencia en considerar al plomo como nocivo para la salud, razón por la cual se investiga en la consecución de un sustituto para sus principales usos.

Existe un exceso de oferta sobre la demanda a partir de 1983, lo cual ha repercutido en el descenso del precio del metal, pasando de US\$0,42 /Libra en 1990; US\$0,39 /Libra en 1991 y a US\$0,33 /Libra en el año de 1992. Este último valor se ha mantenido constante a lo largo de 1993.

El consumo mundial de plomo para la década de los 80, aumentó progresivamente entre 1983 y 1989; descendió en 1991 pasando de 5,39 millones de toneladas en 1990, a 5,44 millones de toneladas en 1991. En

1992 el consumo fue de 5,16 millones de toneladas.

La producción de material refinado en 1992 fue de 5,55 millones de toneladas incrementándose 6,42% con respecto a 1991. Se espera para 1993 un volumen de producción de 4,7 millones de toneladas, valor menor al registrado en el 92, debido a los altos costos de producción y al reducido tenor de los yacimientos, lo cual hace antieconómica su explotación.

La producción de concentrados de plomo en Colombia disminuyó en 1990, pasando de 394 toneladas en 1989 a 331 en 1990; en 1992 el volumen aumentó a 396 toneladas. La producción total se exporta, debido a que no se posee la tecnología para refinarla y su escaso volumen no justifica la implementación de esa tecnología.

El país importó US\$3.223 millones en materias primas con plomo como elemento principal constituyente para el desarrollo de su industria (Dane, 1992).

Proyecciones

La producción mundial, se estima que para 1993 disminuirá en una proporción cercana al 13%, y a partir de este año se proyecta una reducción anual del 1,5%, debido a los bajos precios del metal, obligando a los productores con altos costos de operación a cerrar sus actividades mineras.

Así mismo se pronostica que para los próximos años, el consumo mundial permanecerá constante, con tendencia a la baja, debido al término de la guerra fría y a la reducción de la industria militar.

Es factible que la producción minera Nacional de plomo se incremente a nivel de subproducto, debido al aumento de las explotaciones mineras asociadas con cobre y oro.

Perspectivas para el Desarrollo del País

Las cordilleras colombianas presentan ambientes geológicos favorables para la exploración de depósitos, ricos en minerales de plomo, sin embargo, el exceso de oferta en el mercado internacional y los precios bajos del metal no justifican emprender campañas de exploración independientes para plomo, pero sí para las asociaciones minerales de oro, plata, cobre, plomo y zinc típicas en sulfuros masivos.

La prospección de dichas asociaciones minerales son promisorias en las formaciones de La Equis, Santa Cecilia, Barroso y el Grupo Diabásico unidas geológicas que afloran en la Cordillera Occidental.

Así mismo son prometedores los ambientes sedimentarios (en rocas calcáreas), asociados a magmatismo posterior o ambientes de rift propios de las cordilleras Central y Oriental.

SITUACION MUNDIAL

El plomo en el mundo es suministrado por USA, Canadá y Australia. Estos países proveen las dos terceras partes de la producción mundial. Existen otros productores como la CEI, Alemania, Polonia, Italia, España, Yugoslavia, Burma, Argentina, Perú y Bolivia; sin embargo con excepción de la CEI, ninguno de ellos satisface su demanda interna.

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

La mayor parte de los depósitos de plomo y zinc, ocurren como relleno de cavidades y reemplazamientos a partir de soluciones hidrotermales de baja temperatura, presentándose principalmente en calizas o dolomitas. En estos depósitos se ha discutido el origen de las soluciones a partir de aguas conatadas, aguas meteóricas artesianas ascendentes o soluciones hidrotermales derivadas de actividad ígnea.

Los principales ejemplos en el mundo son:

- Depósitos estrato-confinados de origen singenético, cuyos ejemplos más conocidos son los yacimientos Kuperschiefer (Alemania), Dzhazkazgan y Kazakhstan (CEI). El depósito de Kuperschiefer es propio de un ambiente sedimentario, en rocas dolomíticas. La mena consiste en sulfuros de hierro, zinc y plomo con estructuras coliformes.
- Depósitos estrato confinados de origen epigenético, cuyos ejemplos más conocidos se encuentran en

Missouri, en el Valle Superior del Mississippi y en el NW de Canadá. Los depósitos tipo Valle del Mississippi se presentan en un ambiente sedimentario de origen marino. Muestran estructuras deposicionales tales como pinchamientos, deslizamientos por gravedad y discontinuidades. La mena contiene predominantemente plomo y cantidades menores de zinc, cobre, níquel, cobalto, cadmio y plata.

- Depósitos vulcano-sedimentarios tipo kuroko (Japón), Broken Hill y Monte Isa en Australia y Kidd Creek (Canadá). El depósito de Monte Isa contiene menas estratoconfinadas, plegadas, distribuidas en varios horizontes. Los principales minerales son sulfuros de plomo, zinc, hierro, calcopirita, arsenopirita, tetraedrita, minerales de plata y otros. Las rocas muestran metamorfismo de bajo grado. La carencia de intrusivos cercanos al área, la estratificación fina y la creencia de que el plegamiento es posterior, ha conducido a suponer que la mineralización es singenética, probablemente de origen volcánico, donde los sulfuros son depositados por actividad bacteriana.
- Depósitos por Reemplazamiento, como Cerro de Pasco (Perú) y Tintic (Utah, USA). El depósito de Tintic, comprende rocas sedimentarias cubiertas por rocas volcánicas, e intruidas por monzonitas y pórfidos. Los depósitos, de origen hidrotermal, se encuentran en venas, fisuras y como reemplazamiento; contienen cobre, oro, plomo y zinc.
- Depósitos vetiformes tipo Coeur d'Alene (Idaho, USA). Este depósito se encuentra en rocas metasedimenta-

rias tales como cuarcitas, arcillolitas y lodolitas plegadas, falladas e intruidas por monzonitas. La mena puede ser diseminada o masiva, con presencia de siderita, galena y cantidades menores de pirita, esfalerita y tetraedrita. Los depósitos son de tipo hidrotermal o de contacto.

- Depósitos de Pirometasomatismo de Contacto, como el de Kamioka (Japón).

RESERVAS

Las reservas mundiales de plomo son del orden de las 70 millones de toneladas métricas. Si se incluyen algunas reservas inferidas, recursos económicos hipotéticos en distritos conocidos y algunos recursos subeconómicos, la cifra alcanza 158 millones de toneladas métricas.

Las mayores reservas se encuentran en Estados Unidos, Canadá, Australia y la C.E.I. (Antigua URSS); en Latinoamérica sobresalen México, Perú y Brasil.

Las reservas mundiales (medidas e indicadas) de plomo se encuentran en la tabla 1.

Los Depósitos de Kupferschefer en Alemania y Polonia, se sitúan como una nueva fuente mundial de reservas, de esta forma se incrementarían las reservas inferidas.

Tabla 1
RESERVAS MUNDIALES DE PLOMO

AREA	VOLUMEN (1000 t)	PORCENTAJE (%)
Europa Occidental	6.309	9
Estados Unidos - Canadá	18.927	27
Latinoamérica	5.608	8
Africa	4.907	7
Asia	2.103	3
Australia-Oceanía	10.515	15
Otros países con economías centrales planeadas	21.731	31
TOTAL	70.100	100

Fuente: Modificado de "International Perspective on Mineral Resources" Friedrich, W. et al. 1992

TIPOS DE MINERIA

La mayor parte de las explotaciones de plomo, por ser un subproducto de las explotaciones de oro filoniano, son subterráneas por el método de cámaras y pilares, excavación escalonada, corte y relleno y extracción de bloque cuadrado. Rara vez se realizan explotaciones por el método a cielo abierto.

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA

Las menas de plomo están asociadas con las de zinc. Los minerales de mena más importantes son: Galena (PbS) con un 86,6% de plomo; Cerusita (PbCO₃) con 77,5% de plomo y anglesita (PbSO₄) con 68,3% de plomo. La galena contiene comúnmente plata a manera de burbujas de Argentita (Ag₂S), Tetrahedrita Argentífera 3(CuAg)₂SbS₃ y minerales semejantes. Cuando el contenido de plata en la galena es mayor de 2%, se considera como mena de este mineral. La Galena contiene frecuentemente bismuto y antimonio en trazas.

El tenor de las menas de plomo depende de los metales asociados; las menas explotables contienen entre 6-8% de plomo y las menas con plata contienen entre 2 a 3% de plomo. En el depósito de Missouri las menas libres de plata contienen entre 2-4% de plomo.

DOS PRODUCTOS SEMIELABORADOS

Corresponden a los concentrados de plomo y a los lingotes. Para preparar los concentrados la mena se muele y luego se concentra gravitatoriamente por flotación. Después se someten a procesos de refinación separando las escorias y el refinado. El plomo producido es moldeado en lingotes de 45 Kg o en bloques de 454 kg.

Los principales usos del plomo se dirigen a la industria de las baterías y a la fabricación de antide-tonantes en la gasolina. También se emplea en aleaciones y en la construcción. Así mismo, es el metal más usado en la fabricación de armamento y municiones.

En los países industrializados las baterías ácidas de plomo empleadas en los sistemas de almacenamiento energético se presentan como la mayor aplicación. Este proceso requiere una tecnología de baterías avanzada, con una captación de grandes cargas, bajos costos de mantenimiento y ciclos de larga vida.

Otro uso importante lo constituye el empleo en la protección de radiaciones y almacenamiento de desechos nucleares; esta actividad en las próximas dos décadas podrá consumir entre 90.000 y 130.000 toneladas.

Solamente en los Estados Unidos, para el año 2020 se proyecta un consumo anual entre 135.000 y 535.000 toneladas con este fin.

Uno de los usos más recientes lo constituye su aplicación en las estructuras de los edificios como observador de las ondas sísmicas causadas por terremotos. Estos observadores de choques o aislantes sísmicos están compuestos por acero en capas y acero con corazón de plomo colocados en los sitios críticos de las construcciones, su empleo puede incrementar los costos, pero este mayor valor es justificable debido a que el 40% de la población está viviendo en zonas sísmicas de alto riesgo.

El desarrollo dentro de la industria del plomo en las últimas décadas ha sido afectado, en una u otra forma, por regulaciones ambientales y como consecuencia, su empleo se ha visto restringido. El plomo es catalogado como peligroso para la salud a causa de sus efectos nocivos; no obstante, sus usos tanto actuales como potenciales no presentan riesgos para las grandes concentraciones humanas. Por otra parte, los ambientalistas sí parecen estar obsesionados por este aspecto negativo del metal, procurando ignorar ciertos aspectos positivos como su reciclabilidad, de vital importancia en la industria de las baterías. A corto plazo no se visualiza un sustituto para fabricar baterías ácidas de plomo.

La refinación del plomo causó problemas ambientales en el pasado, debido a las emisiones tóxicas. Pero hoy en día se ha logrado su control y además se ha reducido el consumo

energético para el funcionamiento de los altos hornos.

Características del Mercado

Analizando las curvas de oferta y demanda del plomo en el mundo occidental, para el período 1974-1992, se observa un predominio de sobreoferta independientemente de los grandes eventos socio-económicos de incidencia mundial ocurridos en la misma época, la primera y segunda crisis del petróleo, la guerra de Kuwait y la apertura económica de los países del bloque oriental al mercado occidental.

Durante la primera crisis del petróleo (1973) hubo una reducción en la producción, como resultado del cierre de algunas minas, y la disminución del procesamiento del mineral, a raíz de los altos costos energéticos necesarios en la producción. En la segunda crisis de petróleo (1979) se presentó una situación contraria a la ocurrida en 1973, registrándose una sobreoferta, como consecuencia del desplome en la producción de bienes de consumo, por parte de los países industrializados.

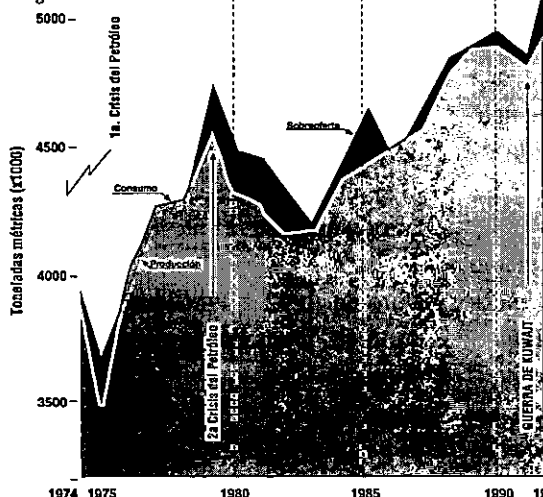
La figura 1 muestra que a partir de 1991, se incrementó la sobreoferta de plomo, pese a la recuperación que ha presentado el sector de consumo, como resultado de las exportaciones procedentes del bloque oriental y de la China. Para 1992 el exceso de producción sobre la demanda fue de 213.000 toneladas métricas.

DEMANDA

El consumo de plomo según la EMEC (Established Market Economy Countries) para 1991 fue de 5,44 millones

CURVAS DE PRODUCCION Y CONSUMO DE PLOMO EN EL MUNDO OCCIDENTAL

Figura 1



Fuente: Engineering and Mining Journal (Annual Survey & Outlook), 1992

de toneladas (Mt), con un incremento del 0,7% (44.000 t) con respecto al año anterior.

La tendencia del consumo en los países industrializados refleja su grado de recesión económica. En los Estados Unidos el consumo se redujo en 5% debido al gran desplome en la demanda de plomo para la fabricación de baterías.

El consumo en la industria de baterías ha mantenido un ritmo de crecimiento estable, ya que las baterías de larga duración con menor contenido de antimonio en las rejillas ha incrementado las de plomo. No obstante, la industria en general tiene una marcada tendencia en la fabricación de productos livianos.

La demanda para la industria de baterías especializadas y automotrices estuvo también afectada por las condiciones económicas. En Europa las 17.000 toneladas de consumo adicional procedentes de Alemania unifi-

cada fueron una compensación por las 34.000 t (11,3%) perdidas en el Reino Unido, donde las acciones del sector de lámina de plomo dominaron las del sector de las baterías siendo las primeras afectadas por la recesión en la industria de la construcción.

El consumo total para los países que conforman el EMEC excedió la producción en 85.000 toneladas para 1990 y aunque aún existe déficit de oferta, ésta se redujo en

1991 a 49.000 tm. En contraste, el consumo total de plomo, en el mundo occidental, presentó niveles inferiores a los de producción, lo que generó una sobreoferta del metal a partir de 1987 (Figura 1.)

Las importaciones (48.000 t) procedentes del bloque oriental, además de la escasa variación en las existencias de productores y consumidores de USA en período de recesión industrial, registraron para finales de 1991 en el LME (London Metal Exchange) unas existencias de metal de 126.000 t, cifra significativamente superior al nivel existente en 1990 el cual sólo alcanzó 57.000 t de provisión.

La demanda, declinará por tercer año consecutivo (1993) con un consumo máximo de 4,36 millones de tm. Los incrementos de consumo provenientes de África y América no compensan el considerable desplome de la demanda en Europa la cual declinó en 36% con relación al año inmediatamente anterior. Los Estados Unidos experimen-

taron también una disminución del consumo por tercer año consecutivo.

El consumo mundial de plomo refinado mantiene la tendencia de los Estados Unidos procurando siempre incrementar el sector de las baterías; se estima que las baterías de ácido-plomo consumen en los Estados Unidos el 80% de su producción total del metal mientras que a nivel mundial se consume el 55%. Los porcentajes podrían incrementarse si los países, tanto del antiguo bloque soviético como del tercer mundo continúan estabilizándose políticamente e inician su crecimiento económico.

La industria de productos químicos consume cerca de 400.000 tm al año, lo que representa el 12% del consumo mundial.

Finalmente el plomo es utilizado en aleaciones y productos muy variados como tuberías, láminas y cables que representan el 33% de la producción mundial.

En la tabla 2 se presentan los volúmenes de consumo mundial de plomo.

OFERTA

La producción minera del plomo durante 1991, se incrementó en 1,5% dentro del EMEC (Established Market Economy Countries). El constante incremento en la producción está soportado por Australia que mantuvo por segundo año consecutivo una producción minera de 500.000 tm. Las minas canadienses estabilizaron su producción mientras que las de Perú la incrementaron. Por otra parte, la producción Europea disminuyó debido a la clausura de algunas minas.

Tabla 2
DEMANDA DE PLOMO EN EL MUNDO
(Toneladas Cortas)

PAIS	1990	1991	1992
Europa	1925.000	1924.000	1976.000
Canadá	100.000	94.000	105.000
México	74.000	68.000	77.000
USA	1446.000	1367.000	1405.000
Japón	456.000	462.000	463.000
Corea del Sur	164.000	182.000	200.000
Taiwan	3.000	83.000	80.000
Otros Países de Asia	319.000	334.000	362.000
Australia	60.000	47.000	50.000
Otros	847.000	877.000	442.000
TOTAL	5.394.000	5.438.000	5.160.000

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1993.

La producción minera en USA también se redujo por el cierre temporal y definitivo de algunas operaciones mineras.

Durante 1992, la producción minera del bloque occidental alcanzó una cifra cercana a los 2,27 millones de toneladas métricas, 2,1% menos que 1991. El incremento en la producción está sostenida por Canadá (con un aumento del 19%) y la reducción es proveniente de Estados Unidos (con una rebaja del 14%).

Para el bloque occidental la producción de plomo refinado durante 1991 fue de 4,34 mt y se reportaron 5000 t por encima de las cifras registradas para el año anterior.

La producción de Europa se mejoró en 65.000 t con relación al año 1990 debido a los aportes de Alemania, Italia y Francia. La unificación de Alemania incrementó las cifras de producción de plomo refinado. Las elevadas cifras de producción de Italia y Francia son el resultado de la modernización y apertura de nuevas plantas de fundición.

La producción canadiense aunque se recuperó durante 1991, aún presenta problemas técnico-laborales que incidieron notablemente en la producción de plomo refinado.

La producción de plomo en los Estados Unidos cayó 8,6% (106.000 t) debido a la poca demanda, particularmente de la industria de baterías que absorben alrededor

del 80% de la producción nacional.

La producción de plomo refinado durante 1992 en el mundo occidental, fue de 4,36 millones de toneladas métricas, cifra ligeramente mayor a la registrada en el año anterior.

Los incrementos en la producción para este período ocurrieron en Canadá, México, Reino Unido y Asia. El mayor aumento (43%) provino de Corea del Sur; el incremento promedio de Asia

sólo alcanzó 12% con relación a las cifras del año 1991. En términos reales los aumentos compensaron los recesos de producción provenientes de España, Estados Unidos e Italia.

El incremento de la producción de plomo refinado entre los años 1991 y 1992 fue modesto para considerarlo en proceso de recuperación comercial.

Para el mundo occidental la producción secundaria de metal refinado durante 1991 procedente de material reciclado fue 50% más bajo (2,29 millones de toneladas) que el obtenido durante 1990. En Estados Unidos la producción de plomo secundario sólo alcanzó el 71% de su potencial mientras que Europa únicamente produjo el 48%.

Durante 1992 la producción secundaria de plomo refinado en USA se mantuvo al mismo nivel del año inmediatamente anterior con una cifra de 850.000 toneladas métricas.

La oferta mundial de plomo, se resume en la tabla 3.

PRECIOS

El primer año de la década de los noventa se reportó como un año próspero para la industria del metal ya que, no sólo se incrementó la producción minera (2,3%) y refinada (6,8%) de plomo, sino que el consumo en el mundo occidental aumentó en todos sus niveles, completando el octavo año consecutivo de

Tabla 3
PRODUCCION DE PLOMO EN EL MUNDO OCCIDENTAL
(Toneladas Cortas)

PAIS	1990	1991	1992
Europa	1800.000	1868.000	2013.000
Canadá	212.000	236.000	287.000
México	191.000	176.000	182.000
USA	1424.000	1323.000	1361.000
Japón	360.000	368.000	371.000
Corea del Sur	83.000	73.000	118.000
Taiwan	30.000	33.000	33.000
Otros Países de Asia	138.000	152.000	197.000
Australia	247.000	256.000	254.000
Otros	628.000	642.000	735.000
TOTAL	5.113.000	5.127.000	5.551.000

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1993.

ascenso en la demanda. Los precios del LME (London Metal Exchange) para 1990 tuvieron un valor promedio de US\$0,36 /lb.

Durante 1991 la producción minera de plomo se incrementó 1,5% pero la de metal refinado sólo subió 0.01%. Los precios disminuyeron y terminaron el año con un valor promedio de US\$0,25 /lb.

Para 1992 la producción minera se incrementó en Canadá pero disminuyó en Europa y Estados Unidos con una reducción global promedio de 2,1%; la producción de metal refinado se mantuvo más o menos estable. Los precios del LME para finales de 1992 arrojaron un valor promedio de US\$0,24 /lb.

Para finales de 1993, en el mundo occidental se pronostica, un incremento de 5,1% en la producción de plomo refinado y únicamente 2,3% del consumo; el contraste de los porcentajes da como consecuencia una sobreoferta que incide negativamente en los

precios, los cuales tenderán a estar por debajo de los US\$0,24 / lb.

La figura 2 señala los cambios del precio del plomo a partir de la década de los años setenta e indica algunos eventos mundiales socio-políticos y económicos y su repercusión en el valor del metal.

Proyecciones

Durante los próximos años se espera un comportamiento similar a las tendencias de oferta y demanda registradas hasta hoy. Como se ha mencionado la relación de producción-consumo, para el mundo occidental continuará siendo positiva en detrimento de los precios.

El "International Lead Zinc Study Group" - ILZSG pronostica un excedente en la producción de más o menos 216.000 toneladas métricas para finales de 1993, cifra que en el mejor de los casos, para los años futuros inmediatos permanecerá igual.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

Dentro del territorio colombiano se conocen abundantes manifestaciones de plomo (Figura 3) pero no depósitos de interés económico de este elemento. Aunque se mencionan las minas de las Nieblas en Quindío, La Equis en el Chocó y el Diamante en Nariño, la única que ha suministrado alguna producción es la mina El Silencio en Segovia. Allí el plomo es explotado como subproducto del oro en una mineralización vetiforme en el Batolito de Segovia, donde las rocas encajantes son metamórficas y los principales minerales son oro, plata, galena y esfalerita.

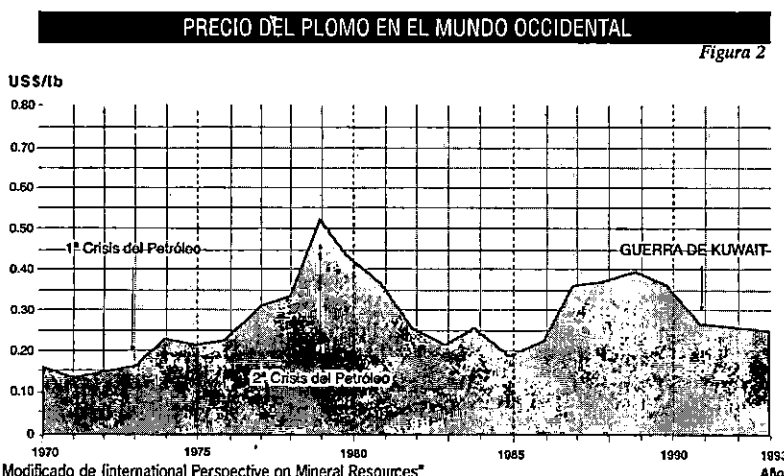
RESERVAS DEL PAIS

En Colombia no se han evaluado sistemáticamente las reservas del plomo y de zinc; las mineralizaciones en los cuales se han estimado reservas son pocas y aparecen en la tabla 4.

MINERIA

La minería de plomo en Colombia está relacionada con la minería del oro; en la mina El Silencio, en Segovia Antioquia, se extrae el metal como subproducto de las explotaciones auríferas que desarrollan un sistema de extracción subterráneo de cámaras y columnas (Room and Pillar).

Este método es el más empleado en Colombia, para las explotaciones de oro filoniano.



Fuente: Modificado de International Perspective on Mineral Resources* Friedrich W et. al. 1992. Datos 1990 - 1993 - Engineering and Mining Journal (Annual Commodities Survey and Outlook 1991, 1992 y 1993).

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA PLOMO

Figura 3



Tabla 4
RECURSOS DE CONCENTRADO DE PLOMO Y ZINC EN COLOMBIA

PROSPECTO	RESERVAS INDISCRIMINADAS		TENORES	REFERENCIAS
	MEDIDAS	INDICADAS INFERIDAS		
Q Cedrillal Santander		100.000	1,33% Pb 0,57% Zn 0,04% Cu	Ward (1970)
Las Nieblas Quindío	7.056	445.109	5 a 10% (infer.)	Barrero et. al. 1971
Río Sucio-Marmato Caldas	150.710	324.763	1'082.760	Ecominas (1982 a)
La Equis Chocó	111.000	12.000	1'600.000	Melo (1984) Mining Annual
El Diamante Nariño	451.000		1,68% Zn 0,11% Pb 0,22% Cu 2,5% As 7,09 t/Au 11,0 t/Ag	JICA (1984)
El Rincón Junín Cundinamarca	1.300	1.610	El tonelaje se refiere a sulfuros de Zn.	

Fuente: INGEOMINAS, 1987.

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y

GRADO DE TRANSFORMACION

Antiguamente, los concentrados de plomo extraídos de la mina El Silencio, eran separados y acumulados con el fin de ser exportados a USA, en el presente la mina no los está separando y éstos en la actualidad son desaprovechados, esperando un incremento en los precios y en la demanda.

APLICACIONES INDUSTRIALES

Aunque el país requiere del plomo, para el desarrollo de su industria la tecnología necesaria para la refinación de los concentrados y su escaso volumen, no permiten ningún avan-

ce en el proceso de industrialización del plomo.

Características del Mercado

DEMANDA

La industria colombiana, según las

estadísticas del DANE importó en 1990 US\$3'323.000.00 en artículos compuestos de plomo como materia prima. La distribución por items es la siguiente: Plomo Refinado sin alear (51.1%), Protóxido de Plomo (Masicot, Litargirio) (25.5%), y Sulfatos de Plomo (7.4%). El resto de los productos utilizados por la industria nacional incluyen: Minerales de plomo, incluso enriquecidos, Oxido Salino de Plomo, Plomo en Bruto sin alear, Plomo sin alear, Aleados de Plomo, Desperdicios y Desechos de Plomo.

OFERTA

El mercadeo de los Metales Básicos en Colombia no está claramente definido, sin embargo a continuación se presentan, en la tabla 5 las estadísticas de exportación de concentrados de plomo.

PRECIOS

El precio de los concentrados de plomo se rige por su valor internacional, cuyo comportamiento en los últimos años se presenta en la tabla 6.

Proyecciones

La situación actual del plomo en Colombia es coyuntural, debido al exce-

Tabla 5
EXPORTACIONES DE CONCENTRADOS DE PLOMO

PAISES	1980	1981	1982	1983	1984	
Pb (t)	312	256	341	308	101	
Pb (1.000 \$)	1.372	1.284	2.216	2.060	676	
PAISES	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Pb (t)	163	202	158	383	394	331
Pb (1.000 \$)	901	1.200	1.201	2.200	2.602	2.450

Fuente: MINERALCO S.A. 1991.

Tabla 6
PRECIO INTERNACIONAL
DEL PLOMO
 (Precios de Productor)

AÑO	PROMEDIO ANUAL
1990	42
1991	39,5
1992	33,5
1993	33,5

Fuente: INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia. II Edición.

so de oferta a nivel mundial. La producción nacional no tiene ninguna significación dentro del contexto mundial. Sólomente cuando los precios sean favorables y la demanda aumente, los concentrados serán nuevamente separados y exportados. Una situación favorable dependerá del mercado mundial del plomo en el futuro. El uso de este elemento en el campo de las baterías, carente de sustitutos está asegurado. Sin embargo, el término de la guerra fría y la reducción considerable de la industria armamentista ha afectado negativamente el mercado. El futuro dependerá entonces de las nuevas tecnologías en el campo de las baterías, los aislantes y en la industria de la construcción.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAIS

Nivel Minero

Aunque Colombia no tiene la capacidad tecnológica para dar valor agregado a los concentrados de plomo que produce, sí puede promocionar la industria minera de este sector.

La tendencia mundial en el uso del plomo aunque levemente está en ascenso; lo anterior permite suponer que la pequeña producción colombiana de concentrados podría ser rápidamente absorbida ante un incremento inesperado en la demanda internacional.

Los bajos precios y un exceso de la oferta sobre la demanda, a nivel mundial, no justifican a corto plazo programas de inversión exclusivos para la exploración de plomo; pero sí, asociados a proyectos de prospección de depósitos polimetálicos que incluyan oro, plata, cobre, plomo y zinc.

Nivel Industrial

Los escasos concentrados de plomo que se producían en el país hasta

1991, no fueron procesados, debido a su reducido volumen y a la alta tecnología que se requiere para su proceso de refinación. Por lo anterior, a nivel nacional no es posible darle un valor agregado a este producto.

RECOMENDACIONES

- El gobierno nacional a través de las entidades del sector minero, debe realizar un análisis sobre las explotaciones de plomo en el país, con el fin de evaluar los problemas específicos relacionados con la exploración, explotación y beneficio.
- Para la prospección de oro, plata, plomo y zinc son promisorias las formaciones La Equis, Santa Cecilia, el Grupo Diabásico y la Formación Barroso, en la Cordillera Occidental. También son prometedores en las Cordilleras Central y Oriental los ambientes sedimentarios (en rocas calcáreas), asociados a magmatismo posterior o ambientes de rift.
- Es necesario que se investiguen sistemas de beneficio utilizados en la mediana minería con el fin de diseñar una metodología adecuada que permita la máxima recuperación de concentrados de plomo dentro del proceso de extracción del oro filoniano.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas Mundiales de Plomo.
TABLA 2. Demanda de Plomo en el Mundo.
TABLA 3. Producción de Plomo en el Mundo Occidental
TABLA 4. Recursos de Concentrado de Plomo y Zinc en Colombia.
TABLA 5. Exportaciones de Concentrado de Plomo.
TABLA 6. Precio Internacional del Plomo.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Curvas de Producción y Consumo de Plomo en el Mundo Occidental.
FIGURA 2. Precio del Plomo en el Mundo Occidental.
FIGURA 3. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Plomo.

BIBLIOGRAFIA

ENGINEERING AND MINING JOURNAL. 1991, 1992 y 1993.
The International Mining Magazine. Annual Commodities Survey and Outlook. Chicago.

FRIEDRICH, W et. al., 1992. - International Perspective on Mineral Resources. 35 p.

JENSEN, M. AND BATEMAN, A., 1981. Economic Mineral Deposits. 3ed. John Wiley and Sons. P.356-373. Toronto.

JORDAN, J.G. 1993. Supply Ahead of Demand. Engineering and Mining Journal, March. P. 30-31. Londres.

MINERALES DE COLOMBIA S.A, 1991. Estadística del Sector Minero.

MINING JOURNAL WEEKLY 1992. - London. Varios números.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS, 1993. Boletín Mensual de Precios de Productos Básicos Vol. XIII, No.4.

SARMIENTO, L. F. 1987, Minerales de Plomo. Publicación Geológica Especial. Ingeominas, Tomo I, No 1. P. 369-443. Santafé de Bogotá.

Minerales

Estratégicos

para el desarrollo

de Colombia

MEDC

G

RUPO 3

METALES DE LA
INDUSTRIA DEL ACERO

HIERRO

NIQUEL

Introducción

El progreso de la civilización se relaciona íntimamente con el empleo de los metales hasta el punto que la importancia de una nación, es tanto más grande cuanto mayor uso industrial haya hecho de los elementos metálicos.

Se conocen con el nombre de metales, una serie de cuerpos simples, electro positivos y monoatómicos que con el oxígeno forman el óxido y con el hidrógeno no forman compuestos gaseosos. Los que emplea la industria se caracterizan principalmente por su peso específico, brillo, dureza, resistencia, fragilidad, tenacidad, plasticidad, dilatabilidad, conductibilidad térmica y eléctrica y permeabilidad magnética.

Son llamados Metales de la Industria del Acero o Metales Ferrosos aquellos que se mezclan con el hierro para producir aleaciones y de ahí su gran importancia y notable aplicabilidad en el campo industrial. No obstante que en este documento sólo se analizan el hierro y el níquel, de acuerdo con el potencial geológico - minero identificado en el país, vale la pena enumerar todo los metales que conforman este grupo. Sumado a los dos anteriores están el cromo, cobalto, manganeso, niobio, tungsteno y vanadio.

Aleación es una mezcla sólida o líquida de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos producido por fusión de sus componentes. Las propiedades de las aleaciones son regularmente diferentes a la de los metales constituyentes. La finalidad de una aleación es mejorar la utilidad específica del compuesto primario evitando adulterarlo o degradarlo.

Después del aluminio, el hierro es el metal más abundante y el cuarto elemento más importante de la corteza terrestre. Se considera que el núcleo de la tierra consiste esencialmente de hierro y níquel; además, la cantidad de meteoritos que contienen estos mismos elementos, sugieren su gran abundancia en el sistema solar.

El hierro se halla rara vez en estado natural (meteoritos) pero sus compuestos son muy abundantes, los más comunes son la hematita Fe_2O_3 , magnetita Fe_3O_4 , limonita $Fe(OH)_3$ y siderita $FeCO_3$. Es un metal blanco grisáceo, dúctil, maleable, tenaz, funde a $1536^\circ C$, se mezcla así mismo al rojo blanco, es magnético se imanta solo, tienen una densidad de 7,8 y es el único metal que puede ser templado.

Los principales usos del hierro, recaen en las áreas de transporte, la construcción y en la elaboración de maquinaria en general.

El níquel, al igual que el hierro, rara vez se halla en estado natural, se presenta en meteoritos llamados kamacitas compuestos de hierro nativo y de 7% de níquel. Se encuentra en menas de sulfuros, diseminado en rocas ultramáficas, constituyendo protos y combinado con el azufre, hierro y manganeso en forma de nódulos.

El sulfuro de níquel pentlandita ($Fe, Ni)_9S_8$, constituye la fuente de mayor importancia del metal y cubre las dos terceras partes del consumo mundial. Las lateritas formadas a partir de la meteorización de rocas ultramáficas son concentraciones residuales de silicatos de

níquel con leyes del 1 al 4%, como resultado de procesos de enriquecimiento supergénico.

El níquel es un metal plateado, maleable, fácilmente trabaja en caliente y en frío; de fácil pulimento; excelente resistencia a la corrosión, alta resistividad eléctrica, ligeramente atacable por los ácidos clorhídrico y sulfúrico y es poco tóxico. Funde a $1455^\circ C$ y tiene una densidad de 8,27.

La demanda del níquel a nivel industrial es debida a la importancia de sus aleaciones con el hierro. Con el acero da aleaciones de níquel duras y elásticas. Entra en la aleación del metal blanco o plata alemana (Cu-Ni-Zn). Se utiliza en la fabricación de monedas y para preservar los metales contra la oxidación.

El acero es, básicamente una aleación de hierro y de 0,002 a 1,5% de carbono; se elabora a partir del arrabio fundido por oxidación del exceso de carbono y otras impurezas. Existen muchos tipos de aceros para usos especiales, donde se utiliza más de un metal con o sin tratamiento térmico especial los aditivos más corrientes son el cromo y el níquel que incrementan la resistencia a la corrosión y son denominados aceros inoxidables. Los aceros para la fabricación de herramientas y los aceros rápidos diseñados para cortar (buriles), contienen metales de aleación como tungsteno, molibdeno, manganeso, vanadio y cromo. En los aceros que se emplean en la industria de la construcción se usa cobalto y zirconio.

El acero adquiere por el temple una dureza muy superior a la del hierro, dependiendo de la temperatura a la cual ha sido sometido y a la rapidez del enfriamiento.

HIERRO

Humberto González I.⁽¹⁾
Pedro A. Marín R.⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El hierro es el cuarto elemento en abundancia en la naturaleza y constituye el 5% en peso de la corteza terrestre donde los elementos denominados siderofitas tienden a asociarse con él. La facilidad de este elemento de presentarse con diferentes valencias y su abundancia permite encontrar minerales de hierro en variados depósitos con características y asociaciones diferentes.

El ciclo geoquímico del hierro es complejo pero bien estudiado lo cual permite una prospección lógica en diferentes ambientes geológicos. Los depósitos económicamente explotables pertenecen a las siguientes clases: segregación magmática, reemplazamiento hidrotermal, sedimentación, diagénesis y procesos de meteorización en superficie.

Se conocen cerca de 300 minerales que contienen hierro, sólo 6 de ellos aparecen en concentraciones económicas de mineral de hierro: magnetita, hematita y goetita son los principales como óxidos. Siderita (carbonato), chumosita (silicato) y la ilmenita (óxido de hierro titanífero) son explotados ocasionalmente.

Las principales mineralizaciones de hierro en la corteza terrestre son producto de concentración química modificada por procesos posteriores, dando origen a los tipos principales de depósitos:

- Formaciones de Hierro (Iron Formation). Ocurren como unidades sedimentarias en secuencias precámbricas. Constituye los principales recursos de este metal y se han formado por sedimentación química en bandas o láminas asociadas con chert. Predominan los óxidos de hierro, magnetita o hematita, y chert o sus equivalentes recristalizados cuando han estado afectados por condiciones de alta temperatura y presión (metamorfismo).
- Estratos de Hierro (Iron stones). El hierro oolítico se presenta en capas intercaladas entre diferentes tipos litológicos. Por lo general son

(1) Geólogo, Ingeominas Medellín.

(2) Geólogo MSc, Ingeominas Santafé de Bogotá.

más jóvenes que las formaciones bandeadas. Originalmente corresponde a una sedimentación química modificada posteriormente por acceso de las olas y transporte, de tal forma que resultan heterogéneos en su mineralogía.

- **Hierro de Pantanos.** En este grupo se clasifican los depósitos de acumulaciones de hierro en pantanos, áreas de glaciación y depósitos aluviales recientes. Son depósitos de pequeña magnitud y formas irregulares. Predominan óxidos de hierro.

Los depósitos relacionados a la actividad ígnea se pueden formar durante la cristalización del magma ya sea como constituyentes de los minerales formados en las etapas iniciales, como una fracción de un estado magmático tardío y como un constituyente fluido que escapa de la cámara magmática y se deposita en las rocas encajantes (depósitos pirometasomáticos).

Los recursos identificados de mineral de hierro son del orden de 800 billones de toneladas con reservas medidas e indicadas de 206 billones. En Colombia únicamente aparecen como reservas económicamente explotables las de Paz del Río donde se han probado 150 millones de toneladas con tenores que varían alrededor del 45% Fe.

Los sistemas modernos de minería se realizan normalmente a cielo abierto con la remoción de grandes volúmenes de mineral y operaciones mecanizadas que rebajan los costos de operación al incrementar la eficiencia y reducen los costos de mano de obra. De-

positos estratificados horizontales y profundos se recuperan por el método de cámaras y pilares, tal como se efectúa en la minería del carbón. El depósito de Paz de Río en Colombia se explota por métodos subterráneos.

Estructura de la Industria

La demanda total de mineral de hierro (Iron ore) y de carbón coquizable están relacionadas entre sí y a su vez con la demanda mundial de acero; actualmente existe un mercado común de estos minerales a través de los océanos y por consiguiente la oferta y demanda es esencialmente universal. El ejemplo típico es Japón que siendo el primer productor mundial de acero no posee recursos ni en hierro ni en carbón.

Entre las aleaciones más importantes, merece destacarse el hierro en lingotes (Pig Iron), el cual contiene hasta 3% de carbono con cantidades variables de azufre, sílice, magnesio y fósforo. Es duro, frágil, fácilmente fundible y se usa para producir otras aleaciones incluyendo el acero. Hierro batido o pudelado (Wrought Iron) contiene muy poco carbono (décimas en porcentaje), es fuerte, moldeable y usualmente presenta una estructura fibrosa. Acero al carbono (Carbón Steel) es una aleación de hierro con carbono y pequeñas proporciones de magnesio, azufre, fósforo y sílice. Son comunes las aleaciones con carbón y otros aditivos como níquel, cromo, vanadio, etc. El hierro es el más barato, abundante y útil de todos los metales industriales.

En Colombia la industria siderúrgica emplea los procesos integrado y semi-integrado; en el primero se utiliza el mineral de hierro de la región de Paz del Río y en el segundo funden la chatarra en hornos eléctricos añadiéndole ferroaleaciones para la obtención de diferentes clases de aceros, especialmente barras redondas, platinas, varillas corrugadas, perfiles livianos, ángulos, cuadrados, perfiles y alambros.

Características del Mercado

La demanda de mineral de hierro está relacionada directamente con la producción de aceros, ésta tuvo un crecimiento firme en la década de los 80 y terminó en 1990 con la recesión en la economía mundial. La producción en 1990 fue de 770 (millones de toneladas Mt) un 2% inferior a la de 1989. Además las dificultades políticas y económicas de los países de Europa oriental han acentuado la disminución en la producción de aceros, la producción en 1990 fue de 133 Mt. La industria de los Estados Unidos mostró un fortalecimiento inicial en este período pero al acentuarse la recesión, decayó la producción a 89 Mt en 1990. Los países subdesarrollados que mostraban un crecimiento continuo en la producción de acero desde 1970, también se vieron afectados.

La producción mundial de mineral de hierro en el quinquenio 1975-1980 fue la máxima en los últimos 40 años; el siguiente quinquenio caracterizado por graves problemas económicos, se identifica por una disminución en la producción y durante 1987

inicia una ligera recuperación que contrarrestó parcialmente la baja producción de los años anteriores.

En términos generales todos los países tuvieron un incremento en la producción en el período de los últimos 40 años, a excepción de Estados Unidos que ha mostrado un nivel constante de producción en el siglo XX.

Proyecciones

Para el futuro inmediato, 1992-1996, la industria del hierro crecerá a una tasa entre el 1,0 y 1,5%, similar a la que se espera para la producción de acero a nivel global. Sin embargo, la producción se incrementará en los países asiáticos en desarrollo, Africa y América Latina mientras que el crecimiento será nulo o negativo en los países que han adquirido madurez industrial.

A partir de la década de los 70, América Latina, ha tenido un crecimiento constante en su participación en el mercado de mineral del hierro y para sostener esta posición es necesario aumentar significativamente sus reservas.

La demanda internacional de chatarra ferrosa para la industria del hierro, del acero y del vaciado ferroso muestra un incremento apreciable en los últimos años y su proyección indica un comportamiento similar para el futuro cercano. En la actualidad el mayor interés en la industria del reciclaje de la chatarra lo constituye el impacto ambiental que puede causar en una región debido a las más estrictas regulaciones sobre el medio ambiente.

A nivel del país, la expansión de la industria siderúrgica debe pensar en el mercado internacional de mineral de hierro, teniendo en cuenta su posición geográfica con algunos países vecinos exportadores de este material en sus dos océanos y la posibilidad de intercambio minero (swaps) donde el mineral importado puede ser compensado con minerales de alta producción nacional como carbón o níquel.

Perspectivas de Desarrollo en el País

La única producción actual de mineral de hierro en el país se registra en Paz del Río con alrededor de 650.000 toneladas las cuales son utilizadas en la industria siderúrgica empleando el proceso integrado. Las características geológicas en la región andina y la infraestructura del oriente colombiano no permiten un desarrollo siderúrgico basado en la producción de mineral de hierro nacional. A nivel industrial tiende a fortalecer los sectores de la construcción, metalmeccánico por lo tanto será preciso incrementar las importaciones, el valor de éstas en el período 1991-1992 superó los US\$700, la cifra más alta dentro del total de las importaciones del país.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se formulan las siguientes recomendaciones que deben convertirse en proyectos para ser ejecutadas en forma armónica por los sectores oficial y privado :

- La exploración por parte de organismos estatales y privados debe concentrarse en la Sierra Nevada de San-

ta Marta donde se presentan prospectos interesantes de segregación magmática tipo Kiruna (magnetita, ilmenita, apatito) y Mitú donde aparece hierro oolítico y algunos estratos de Itabirita (Iron Formation).

- A corto y mediano plazo la industria nacional que consume aceros de características especiales dependerá de la importación de productos elaborados y terminados de hierro, incluyendo aceros especiales. Además, teniendo en cuenta la política de internacionalización y apertura económica, la industria siderúrgica debe mejorar sus productos finales, reduciendo los costos de producción y adecuarse a las regulaciones ambientales.

- Elaborar estudios de prefactibilidad para establecer una planta siderúrgica que procese chatarra o mineral de hierro importado por intercambio minero compensado con minerales de alta producción nacional o con hidrocarburos.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO

El hierro es un elemento relativamente abundante en el Universo. Se encuentra nativo, como principal constituyente de los meteoritos denominados sideritos y es el cuarto elemento, en peso, en la corteza terrestre.

Casi todas las rocas sedimentarias contienen cantidades de hierro fácilmente detectables. Cuando el hierro

llega a ser un constituyente importante, las rocas son llamadas ferruginosas y pueden convertirse en menas de hierro.

Aunque la magnetita y la hematita son cuantitativa y económicamente los minerales de hierro más importantes de las concentraciones sedimentarias de hierro, existen otros minerales, que en ciertas condiciones geológicas, pueden llegar a ser importantes, tales como: hidróxidos (goetita y limonita), carbonatos (siderita), sulfuros (pirita) y silicatos. Los depósitos individuales están constituidos por un amplio rango de estos compuestos y la concentración de hierro puede presentar grandes variaciones.

El hierro es el fundamento en el cual se basa la industria del acero. Si no existe una producción doméstica de esta material, la industrialización en términos económicos puede llegar a ser costosa.

Aunque sus líneas divisorias no siempre son precisas y que inevitablemente aparecen cuerpos híbridos, las concentraciones de hierro caen en las siguientes categorías:

- Formaciones de hierro (Iron Formation). Son las más grandes, ampliamente desarrolladas y producen la mayor cantidad de hierro en el mundo.
- Estratos de Hierro (Iron Stones). De menor desarrollo, aunque todavía de gran importancia, los cuales han producido el hierro doméstico en Inglaterra y la mayor parte de Europa.
- Menas de Hierro de Pantanos. No son muy importantes y su explo-

tación ha estado restringida esencialmente en Europa. Se conoce algunas explotaciones en Escandinavia

Los depósitos Iron Formation son los más importantes y la provincia más grande, hasta el momento conocida, corresponde al cinturón Quebec-Ladador-Ontario-Minnesota. Los grandes yacimientos del Brasil, India, Sur Africa, Venezuela y Australia son también significativos.

Recientemente se descubrió una provincia extensa de hierro bandeado en el Oeste de Australia, actualmente es uno de los centros de mayor producción. Regionalmente reciben nombres diferentes: taconita en Norte América, itabirita en Brasil, cuarcita hematítica en la India, y jaspilita bandeada en Australia. En Suráfrica se les llama estratos de hierro bandeado.

Mientras los depósitos de hierro de pantanos rara vez alcanzan extensiones mayores a los 10 o 12 Km² y los de estratos entre 30-40 Km², los grandes depósitos de Iron Formation bandeado presentan continuidad deposicional en extensiones mayores a los 150 Km². Su espesor puede alcanzar 800-900 m.

Hematita y magnetita son los minerales más abundantes en estos depósitos y su proporción puede ser similar. El carbonato es de ocurrencia común y puede ser el constituyente principal, tal como sucede en el yacimiento Helen en Ontario (Canadá). Los silicatos son los mayores constituyentes, en los Iron Formation, en Biwabik se comprobó que la presencia de greenalita

llega hasta el 70%. Los sulfuros (pirita) en las Iron Formation son escasos y sólo en ocasiones tienen importancia económica; en el depósito Helen en Ontario las concentraciones de pirita (mena) tienen hasta 18 m de espesor.

Aunque muchos autores sugieren que no debe existir diferencias entre los sistemas Estratos de Hierro (Iron Stones) y Formaciones de hierro (Iron Formations), existen características que justifican una división entre estos dos sistemas: Mientras que las formaciones de hierro presentan gran abundancia de chert y por consiguiente una alta relación sílice-hierro, mientras los Estratos de Hierro contienen poca sílice y por lo tanto una proporción baja sílice: hierro. Además, virtualmente todos los Estratos de Hierro son posteriores al Precámbrico.

Los Estratos de Hierro son depósitos bien desarrollados en todos los continentes y varios han sido fuente importante de mineral; pueden ser extensos y alcanzar varios kilómetros o forma lenticular con espesores muy variable entre pocos centímetros hasta 12 o más metros.

La mayoría de estos yacimientos se presentan en facies sedimentarias cercanas a las costas y en secuencias de aguas marinas poco profundas, compuestas esencialmente por areniscas, calizas, conglomerados, limolitas y arcillolitas, algunas de las cuales pueden ser carbonosas.

Menas de Hierro de Pantanos se encuentran en lagos, pantanos, ciénagas y ríos en áreas de glaciación. Estas concentraciones son exclusivas de tundras

recientemente glaciadas en el Hemisferio Norte. Goetita es el único mineral identificable en esta categoría.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Los recursos mundiales identificados del mineral de hierro son del orden de 800 billones de toneladas largas (tl), mientras que los recursos base mundial alcanzaron los 206 billones tl, los cuales contienen cerca de 98 billones de toneladas cortas (tc) de hierro (Figura 1). Los países con una economía central organizada (CEPC'S) presentan los mayores recursos base del mineral de hierro, 69 billones, de los cuales 59 billones tl están ubicados en la CEI.

A los recursos medidos le corresponderían 68 billones de toneladas largas, de los cuales se podrían recuperar 25 billones tl de hierro. Este tonelaje incluye 43 depósitos ubicados

en los Estados Unidos con un contenido aproximado de 19,3 billones de tl de mena y 86 depósitos en el resto del mundo con un contenido de 37,8 billones tl de mineral de hierro (mena). En la tabla I se relacionan los países con mayores reservas medidas, su tenor promedio y su contenido de hierro.

TIPOS DE MINERIA

Los sistemas modernos de minería de la mena del hierro están relacionados con trabajos a cielo abierto (Open Pit), se exceptúan los trabajos subterráneos en la parte norte y central de Suecia. Actualmente en muchos de los procesos de minería y beneficio, la tecnología del computador ha sido incorporada con el fin de incrementar eficiencia y reducir mano de obra.

La delimitación y cálculo de reservas en esta minería a gran escala es realizada mediante perforaciones por percusión o rotación. Y en la explotación se emplean equipos automatizados de gran capacidad reduciendo los requerimientos de mano de obra y los costos de producción.

Depósitos estratificados, horizontales y profundos, donde la mena no es mayor de 6 m de espesor, se recuperan mediante el método de cámaras y pilares; este tipo de minería representa el 18 - 20%.

Los métodos más comunes en el transporte del material de la mina a la

planta de beneficio son el tren y grandes camiones y convoyes por sus menores costos; sin embargo, la geometría y profundidad de la explotación, así como otros factores deciden cual método es el más adecuado. La combinación en los métodos de transporte es aconsejable para las grandes explotaciones a cielo abierto.

Casi todas las menas de hierro se benefician para obtener uniformidad en el tamaño, para eliminar impurezas y aumentar el contenido de hierro. El beneficio se consigue a través de métodos como: trituración, tostación, lixiviación, flotación y separación de pesados.

Las propiedades físicas de las menas son importantes en su beneficio y afectan sus costos. Una de las características físicas más importantes es el tamaño de las partículas. Como la mayoría son menores de 1/4 de pulgada estas deben ser aglomeradas antes de abastecer el horno.

El endurecimiento se realiza por ignición de la mezcla de la mena fina (entre 1/4 y malla 100) caliza y coque sobre un enrejado móvil horizontal

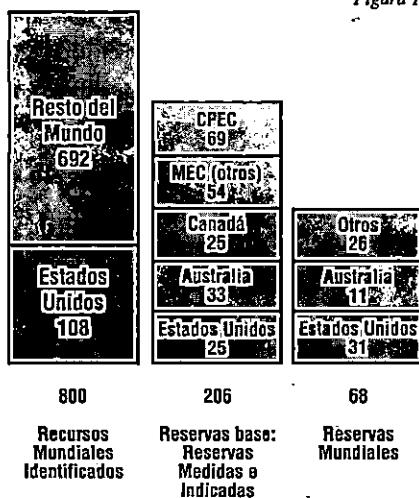
Tabla I
RESERVAS MUNDIALES DE HIERRO
Millones de Toneladas Largas (Mtl)

PAISES	TENOR PROMEDIO	TONELAJE IN SITU	CONTENIDO EN HIERRO
Australia	.60	10.981	6.606
Brasil	63	5.100	3.230
Canadá	35	6.173	2.144
Suecia	48	2.009	961
Estados Unidos	26	19.320	5.691

Fuente: Bureau of Mines, Bulletin 692, 1987.

RECURSOS Y RESERVAS MUNDIALES DE MINERAL DE HIERRO

(Billones de Toneladas Largas)



Fuente: Bureau Of Mines, Bulletin 692, 1987.

Estructura de la Industria

La demanda de Mineral de Hierro (Iron Ore) y de carbón coquizable están estrechamente relacionadas y éstas a su vez, con la demanda mundial del acero. En el aspecto local, la demanda con una base nacional geográfica está condicionada por factores como: especificaciones, precios y transporte.

Actualmente existe un mercado masivo de hierro y carbón coquizable a través de los océanos. Por consiguiente, la oferta y demanda del grupo hierro-carbón coquizable con el acero es esencialmente universal, y el ejemplo típico es Japón, productor más grande de acero, que no posee recursos domésticos ni en hierro, ni en carbón.

A corto plazo la demanda del acero se verá afectada por fluctuaciones climáticas (estacionales), por los mayoristas y comerciantes en sus almacenamientos. A mediano y largo plazo, la demanda está controlada por el grado de actividad económica internacional y por la relación entre los cambios o tendencias en el uso del acero y el crecimiento del producto bruto de un país.

Un factor importante es el cambio de intensidad en el uso del acero, el cual puede observarse cuando un país pasa a través de sus posiciones económicas, desde un estado de subdesarrollo industrial a un alto grado de desarrollo y finalmente, a una madurez industrial.

La evolución técnica en la producción de acero también afecta las necesida-

des de abastecimiento. Por ejemplo, el proceso de los hornos de arco eléctrico (EAF), en el cual la chatarra puede constituirse en un 100% como materia prima, ha ganado primacía constituyendo actualmente el 27% de la producción mundial de acero. Igualmente, se predice un incremento constante, aunque el proceso del horno detonante continuará predominando por algún tiempo más. Los cambios en el convertidor de oxígeno también han afectado la demanda de mineral de hierro.

Con base en las perspectivas del acero, el futuro a corto plazo del mineral de hierro presentará un crecimiento promedio del 1% anual hasta 1996. Esto se refleja en la disminución del 7% en las importaciones marítimas de Europa Occidental, Japón y Estados Unidos a partir de 1990, comparando la misma situación de decaimiento con el mercado marítimo mundial del 77% al 68%. Dentro de este período de pronóstico, hasta 1992 se presentará una caída absoluta, para posteriormente iniciar una recuperación económica liderada por un comercio marítimo en el mercado del mineral de hierro hasta alcanzar en 1996 las 373 Mt. El crecimiento más importante estará en la Región Circum-Pacífica con Corea del Sur a la cabeza cuyas importaciones crecieron un 37% para producir 33 Mt en 1996 y China

que la incrementará en un 52% para producir 22 Mt. Un fuerte crecimiento en las importaciones también ha sido previsto en Indonesia, Malasia y Tailandia.

La producción de acero en la Europa del Este (Tabla 2) y por consiguiente, el consumo de mineral de hierro, es posible que descienda pero con un cambio en la oferta tradicional de Rusia, por la oferta de Europa Occidental, se pueden incrementar las importaciones para este bloque a quizás 16 Mt para 1996.

Brasil ha previsto incrementar su comercio con los países del Este desde 37% en 1990 al 40% en 1996. Durante este mismo período Australia incrementará su participación en el mercado del Pacífico, del 44% al 46% (192 Mt). Colectivamente estos dos exportadores contarán con el 63% del mercado mundial marítimo del mineral de hierro en 1996 (60% en 1990). Las exportaciones de la India se incremen-

Tabla 2
SITUACION PREVISTA (1992-1996) DE LA PRODUCCION DE ACERO Y DEL MERCADO MARITIMO INTERNACIONAL DEL CARBON COQUIZABLE Y DEL MINERAL DE HIERRO
Millones de Toneladas (Mt)

PRODUCCION DE ACERO	1990	1992	1994	1996
Países del Este	137	138	134	129
Norte América	101	95	97	94
Japón	110	111	107	103
Otros	422	408	429	440
TOTAL	770	752	767	766
PRODUCCION DE ACERO	1990	1992	1994	1996
Mineral de Hierro	354	359	366	373
Carbón Coquizable	162	166	169	170

Fuente: Mining Journal. Volumen 317 No. 8146, 1991.

tarán de 8 a 41 Mt. para el año 1996. Debido a los mayores requerimientos de los países industrializados, la demanda neta del mercado marítimo del mineral de hierro (mena) se incrementará en 19 Mt en 1996.

En Europa, un descenso en la producción de acero mediante el proceso BOF (Basic Oxygen Furnace) y un incremento por el método PCI (Pulverized Coal Injection), serán balanceados por la contratación de una producción doméstica de carbón, permitiendo una declinación del 6% en las importaciones. De otro lado, las importaciones japonesas necesarias caerán a aproximadamente 60 Mt en 1996 (18% menor a lo actual), debido especialmente a los factores BOF/PCI. Grandes importaciones de carbón coquizable están previstas para Argelia, Egipto, Argentina, Brasil, México, Irán, Turquía, India, Paquistán y más notablemente Corea del Sur con 16 Mt para 1996.

Analizando las perspectivas de los exportadores, Australia será el más beneficiado, con un incremento en la exportación del 13% con más del 70 Mt en 1996. Su participación en el mercado del Pacífico Asiático se incrementará a un 50%.

Durante los últimos 20 años América Latina se ha mantenido como la mayor abastecedora del mineral de hierro para los países o regiones industrializadas. En la actualidad cerca del 32% del mineral de hierro que se comercializa en el mundo es producido en Latinoamérica. La excelente calidad y gran tonelaje de sus yacimientos la convirtieron en una región pri-

vilegiada para el abastecimiento de la industria siderúrgica mundial.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial se creó una gran demanda de minerales de alta ley ante el agotamiento de las grandes mineralizaciones en los principales países consumidores, Estados Unidos, Europa y la Unión Soviética, y ante el crecimiento de la industria siderúrgica mundial, a fines de los años 50, se generó un gran auge en la actividad ferrominera latinoamericana.

La demanda del mineral de hierro está supeditada a la demanda del acero. En general los países industrializados presentaron el mayor movimiento de mineral de hierro sobresaliendo Rusia, China, Brasil, Australia, Estados Unidos y la India (Tabla 3).

La demanda internacional por chatarra de hierro y de acero durante 1988 alcanzó un gran éxito (Tabla 4). La demanda de chatarra ferrosa, tanto en cantidad como en porcentaje fue mucho más alta en los países con una economía de mercadeo que en los países con una economía planificada. La mayoría del incremento en la demanda provino de los Estados Unidos, en menor proporción de Bélgica, Brasil, Alemania Federal, Luxemburgo, Corea del Sur, Taiwan y Turquía. Estados Unidos continuará liderando las exportaciones de hierro y chatarra conjunta-

Tabla 3
PRODUCCION MUNDIAL DE MINERAL DE HIERRO 1992
Millones de Toneladas (Mt)

	1987	1988	1989	1990	1991p	1992e
Rusia	251	250	241	245	244	204
China	90	105	145	159	170	192
Brasil	145	146	153	158	162	171
Australia	120	140	145	148	152	161
EEUU	48	58	59	61	63	66
India	50	51	52	53	55	58

Fuente: Mining Annual Review. Actualizado a 1992
p= preliminar, e= estimado

mente con Rusia, Alemania e Inglaterra (Tabla 5).

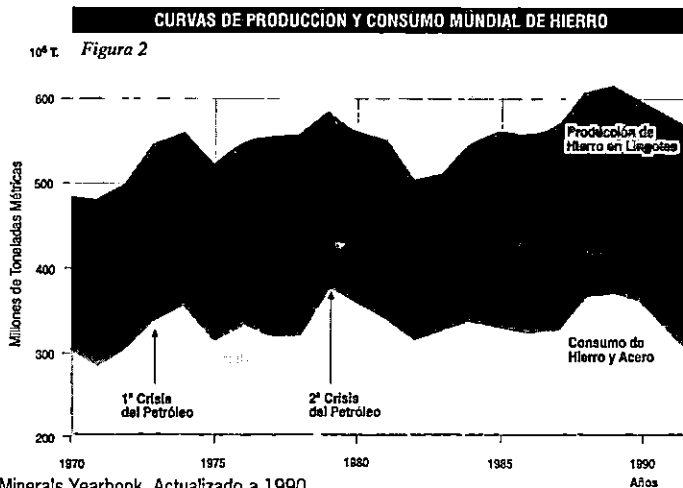
Las importaciones (Tabla 6) están lideradas por los países de la Comunidad Económica Europea, con España e Italia a la cabeza y en general por los países con una baja producción doméstica de mineral de hierro tal como: Japón, Corea del Sur y Turquía. Nuevamente los países subdesarrollados vuelven a ocupar los últimos puestos en las importaciones.

Características del Mercado

OFERTA

La fase recesional de la economía mundial durante 1990 terminó con el crecimiento firme de la producción de acero observada durante la década de los 80. La producción total de los países del Este, Estados Unidos y Japón fue de 785 Mt (millones de toneladas) en 1989 y en 1990 decayó en un 2% a 770 Mt. La producción en Europa del Este está afectada por las dificultades políticas económicas e industriales que esta pasando la región (Figura 2).

Mirando en detalle la situación del acero, entre 1989 y 1990, la produc-



ción de la Comunidad Económica Europea fue de 133 Mt decayendo en un 2%. Mientras que la industria de los Estados Unidos mostró un fortalecimiento inicial, un nuevo recrudescimiento en la recesión económica acabó con el crecimiento positivo en la producción con 89 Mt durante 1990.

En general, los países en vías de desarrollo mostraban un crecimiento en la industria del acero, con un aumento casi constante desde los años 70.

Este auge terminó en 1990, al disminuir la tasa de crecimiento de la industria en general.

Estas perspectivas indican que el crecimiento en la producción de acero en el mundo no se incrementará en más del 2% entre 1990 y 1996. Sin embargo, la producción aumentará en los países industrializados de Asia, Africa y América Latina, pero éste será contrarrestado por el crecimiento nulo o negativo en los países que han adquirido una madurez industrial.

Aunque los años de 1988-1990 fueron años económicamente rentables para la producción de acero, no contrarrestaron las pérdidas sufridas por los fabricantes en el período 1982-1986.

La producción, la capacidad de utilización y los envíos marítimos fueron más altos que en los años anteriores en respuesta al incremento en la demanda. Esta recuperación económica fue interrumpida por la recesión económica internacional, no obstante se pronostica que en los próximos 4 años habrá un crecimiento anual del 1% en la producción mundial de acero (Tabla 7).

Se observa que los países de mayor producción de acero son los que han alcanzado una madurez industrial.

Otro parámetro que define el grado de madurez industrial de una región lo constituye la producción de arrabio (Pig Iron) (Tabla 8).

Se observa en esta tabla que la mayor producción corresponden a los países industrializados, sobresaliendo Rusia, Japón, Estados Unidos, China y Alemania. Mientras que en los países en vía de desarrollo sobresalen Brasil e India.

Tabla 4
CONSUMO DE CHATARRA DE HIERRO Y ACERO POR PAÍSES
(Millones de Toneladas Cortas)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990p
EEUU	70493	65856	68303	69050	69530	70820
Rusia	52110	54115	55115	56030	57080	58120
Japón	48685	44378	44777	45150	45280	46320
Alemania	26110	24311	23455	23630	23755	23530
Italia	17133	16144	16407	16620	6930	16180
China	17700	12500	13500	13800	140000	14200
España	11152	9641	9500	9430	9800	9750
Polonia	9490	10070	10061	10180	10230	10320
Checoslovaquia	8471	8422	8500	8530	8450	8580
Canadá	7905	7804	7875	7920	7850	7260
Brasil	7714	7934	8068	8220	8180	8350
Inglaterra	7712	7341	7782	7820	7930	7850
Rumania	4280	4300	4500	4450	4580	4520
Suiza	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Bélgica	3930	2956	2810	2835	2910	2850
México	3413	3253	2944	2930	2980	3055
Colombia	433	491	593	570	600	620
Ecuador	21	20	30	40	45	42

Fuente: Minerals Yearbook. Actualizado a 1990. p= preliminar

La producción mundial de mineral de hierro en el quinquenio 1975-1980 fue la máxima en los últimos 40 años (Figura 3), alcanzando los 890 millones t. El siguiente quinquenio, se caracterizó por grandes problemas económicos los cuales se reflejaron en una baja producción de acero, por ende en una baja producción de mineral de hierro. Durante 1987 la producción experimentó una ligera recuperación que contrarrestó parcialmente la baja producción de los años anteriores.

A partir de 1985 aproximadamente el 55%, fue producida en los países con una economía de mercado (MEC'S) y de estos sólo 5 países contribuyeron con el 42%. Así por ejemplo Australia y Brasil en 1985 produjeron 90 y 95 Mtc respectivamente, esta cifra trató de mantenerse en el quinquenio siguiente; sin embargo, Brasil fue mucho más constante y Australia finalmente decreció en un 5%; Estados Unidos, India y Canadá siguiendo con 118, 45 y 38 Mtc respectivamente.

Rusia, el mayor productor del mundo, participó en 1985 con el 30% y en 1990 con el 28% de la producción; así mismo, la China tuvo una producción muy alta y junto con Rusia, en la década del 80, produjeron el 44% de la producción mundial.

Se puede observar (Figura 3) entre los años 1950-1990 que todos los países tuvieron un incremento en la producción a excepción de Estados Unidos que tuvo un nivel constante de producción. El resto del mundo partió con menos de 100 Mtc y terminó con un poco más de 300 Mtc, lo cual

Tabla 5
EXPORTACIONES DE CHATARRA DE HIERRO Y ACERO POR PAÍSES
(Millones de toneladas Cortas)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990p
EEUU	10060	11782	10424	10620	10830	11050
Inglaterra	4982	4230	3644	3850	3980	4025
Alemania	4397	3492	3568	3620	3590	3680
Francia	4366	3484	3558	3620	3710	3690
Rusia	3655	4506	4299	4320	4380	4420
Holanda	2023	2192	2474	2520	2630	2610
Canadá	968	1016	1198	1240	1250	1290
Bélgica						
Luxemburgo	811	725	829	850	880	910
Hong-Kong	322	304	353	380	385	395
Taiwan	428	210	108	115	130	125
Corea del Sur	28	79	46	55	60	72

Fuente: Minerals Yearbook. Actualizado a 1990. p= preliminar

puede ser atribuido al beneficio de las minas de hierro en países en vía de desarrollo.

Para el futuro inmediato, 1992-1996, la industria del hierro crecerá según los pronósticos entre 1 y 1,5% anual. A partir de la década del 70, Latinoamérica tuvo un crecimiento importante, la participación de su producción, en el contexto mundial, creció del 8,3 al 10,8% durante 1960 a 1970,

luego pasó del 15 al 18% entre 1980 y 1985 para llegar en 1990 a una producción máxima del 20%, consiguiendo de esta forma, ubicarse desde mediados de la década del 70 como la segunda región mayor productora de mineral de hierro en el mundo.

Para sostener la posición en el mercado internacional, América Latina necesita encontrar excelentes reservas de mineral de hierro. Brasil es el país

Tabla 6
IMPORTACIONES DE CHATARRA Y ACERO POR PAÍSES
(Millones de toneladas Cortas)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990p
España	6776	4784	4702	4750	4810	4930
Italia	6368	5232	5413	5400	5450	5480
Japón	3587	3554	2599	2640	2590	2680
Corea del Sur	2640	3434	3879	3750	2390	2420
Alemania	2753	2604	2306	2350	2390	2420
Luxemburgo	1642	1347	1746	1850	1750	1840
Yugoslavia	804	718	759	820	790	840
Suiza	976	769	870	820	810	790
EEUU	611	724	843	860	870	840
México	926	475	500	520	490	525
Venezuela	547	560	550	520	580	610
Colombia	50	50	50	50	50	50

Fuente: Minerals Yearbook. Actualizado a 1990. p= preliminar

Tabla 7
CAPACIDAD MUNDIAL DE PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO
Millones de Toneladas (Mt)

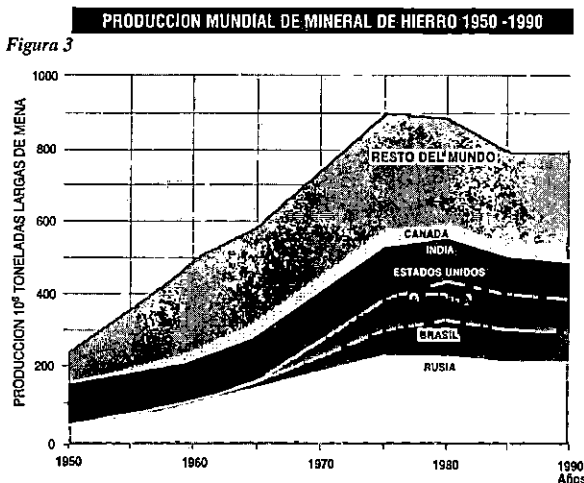
PAIS O AREA	PORCENTAJE PARTICIPACION	CAPACIDAD ESTIMADA 1988
EEUU	11,6	112
Comunidad Europea	17,2	165
Rusia	19,1	184
Japón	12,8	123
Otros Países	39,3	378
TOTAL	352.0	100.0

Fuente: American Iron and Steel Institute. 1988.

Tabla 8
PRODUCCION MUNDIAL DE ARRABIO POR PAISES
(Miles de Toneladas Cortas)

PAIS	1985	1986	1987	1988	1989	1990p
Rusia	121600	120600	124800	124850	124950	124900
Japón	88629	88812	82289	80929	87408	88500
EEUU	51961	49963	44287	48308	55745	57300
China	44070	48100	55200	59400	62200	63600
Alemania	35891	37599	35005	34520	38973	39800
Brasil	18960	20911	22432	23710	25972	28700
Francia	16578	17004	15412	16305	14800	15600
Italia	12818	13297	13135	11500	12550	13800
Polonia	11002	10810	11626	11548	11600	12000
Canadá	10629	10654	10195	10472	10500	10800
Checoslovaquia	10539	10540	10552	10789	10800	10900
Rumania	10535	10154	10283	9560	9400	9200
India	10342	10841	11584	12007	11000	11100
Colombia	278	258	349	359	341	360

Fuente: Minerals Yearbook, 1988. Actualizado a 1990. p= preliminar



Fuente: An Appraisal to Minerals Availability for 34 Commodities U.S.A. Bureau of Mines, Bulletin 692, 1987. Actualizada a 1990.

que más recursos identificados posee, seguido por Venezuela, Bolivia, Perú, Chile y Argentina. (Tabla 9). Colombia, a pesar de sus escasos recursos, por su ubicación geográfica no tiene una situación tan crítica si se tiene en cuenta la tendencia internacional de importar mineral a través de los océanos. Nuestro país puede importar mineral de hierro de Venezuela o Brasil usando el Océano Atlántico o del Perú y Bolivia a través del Pacífico.

arrabio (Pig Iron) y hierro de esponja (Raw Steel).

Con la iniciación del SRI (Steel Recycling Institute) en julio de 1988 en Pittsburg, con fondos de los 6 mayores productores de latas de estaño, se ha pensado establecer el reciclaje de contenedores de acero como una alternativa práctica en la sustitución del aluminio y que vienen a corresponder a un 5-7% en peso del total de desperdicio reciclable. En los 4 años de existencia del Instituto, el éxito ha sido grande, con posibilidades de seguir incrementando esta modalidad.

En la actualidad el mayor interés de la industria del reciclaje de la chatarra lo constituye el impacto ambiental que puede causar en una región, sin infringir las leyes o normas que rigen en ecología. En el reciclaje el problema mayor lo constituye el material que pasa a ser desperdicio y no se puede aprovechar; hay que buscarle un sitio apropiado de almacenaje, lo cual incrementa el costo del producto final en un 10-12% y aun más dependiendo de las regulaciones ambientales.

DEMANDA

La demanda internacional de la chatarra ferrosa para la industria del hierro, del acero y del vaciado ferroso, mostró un incremento, entre 8-9% para el período 1988-1990 con relación a los años anteriores. De esta demanda sobresale ampliamente la producción de

PRECIOS

Los precios mundiales del hierro para el período comprendido entre 1990 y 1993 se muestran en la figura 4.

NIVEL NACIONAL

La industria del acero en Colombia se inició en Pacho (Cundinamarca) en 1925, con una ferrería, cuya incipiente producción se extendió hasta la mitad de este siglo. Allí mismo en

Tabla 9
RECURSOS DE MINERAL DE HIERRO EN LATINOAMERICA
 Millones de Toneladas (Mt)

PAISES	RECURSOS IDENTIFICADOS	RESERVAS MEDIDAS	RESERVAS INDICADAS
América Central	16	16	-
Argentina	2.246	1.170	1.076
Bolivia	6.750	225	6.525
Brasil	50.267	50.267	-
Colombia	440	195	245
Chile	3.451	2.705	746
Guayana	1.044	-	1.044
México	662	662	-
Paraguay	400	-	400
Perú	4.606	2.106	2.500
Surinam	1.220	-	1.220
Uruguay	175	30	145
Venezuela	13.972	13.972	-

Fuente: Survey of World Iron Ore (Unites Nations) en: La Potencialidad de la Minería de Hierro en América Latina, Latinominería, Vol. 1 No. 3 mayo 1992.- Información no disponible

1940 se estableció otra ferrería para aprovechar los minerales de hierro de la región, así como la utilización, por primera vez, de la chatarra existente en el país. Esta industria funcionó hasta principios de la década de los años 80.

Aspectos Geológico-Mineros

El hierro no ha sido considerado de importancia en los diferentes programas de exploración y evaluación de recursos no renovables y las estadísticas que se conocen sobre las reservas no han variado en los últimos 5 años. El tonelaje total de reservas que se conoce en el país es de 195 millones de toneladas (Mt) de las cuales 150 Mt corresponden a Paz del Río, 40 Mt Cerro Matoso y 5 Mt a otros depósitos menores.

Esta deficiencia se debe en parte a que las posibilidades geológicas de encontrar un buen depósito de mineral de hierro, con las reservas, cualidades y calidades suficientes para competir en el mercadeo internacional, son remotas.

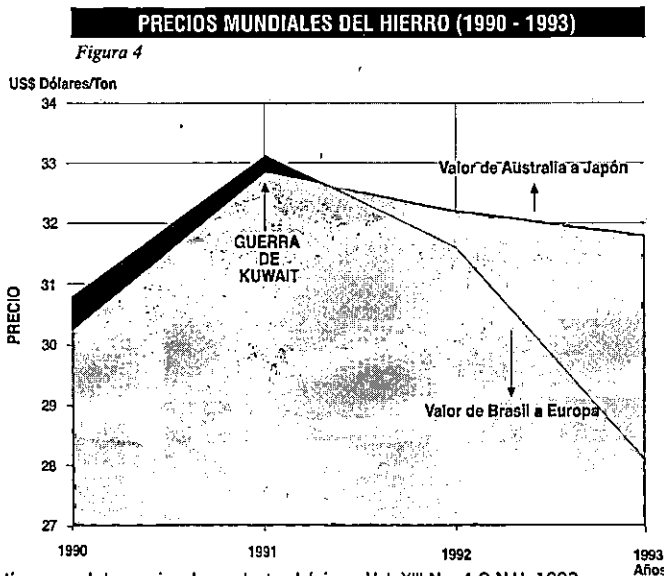
AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

Las ocurrencias económicas de mineral de hierro en Colombia son escasas y se encuentran en la parte occidental (Región Andina) y en especial en la Cordillera Oriental donde se conocen varias explotaciones de mineral de hierro en depósitos de Estratos de Hierro, entre los que sobresale Paz del Río (Boyacá) (Figura 5) con una longitud de 20 km y un espesor variable entre 0,4 y 7 m y un contenido de hierro de 20 a 60%. Las reservas son del orden de 150 millones de toneladas con tenores promedios de 45% de Fe.

La ocurrencia de depósitos de formaciones de hierro bandeado, en Colombia no ha sido confirmada. Sin embargo, el ambiente geológico del Este colombiano (Llanos Orientales) presenta algunas posibilidades, especialmente en las rocas metasedimentarias del Proterozoico, de contener depósitos de este tipo. No obstante esta probabilidad, cualquier depósito que se encuentre en esta región no será económicamente rentable mientras existan las condiciones actuales de infraestructura, condiciones, que por su entorno tanto topográfico, de acceso y ambiente, permanecerán iguales por varias décadas más. En la región de Mitú (Vaupés) se presentan manifestaciones de hierro en unas areniscas terciarias y cuya descripción parece corresponder a depósitos del grupo Estratos de Hierro, pero por su ubicación no son de interés económico en la actualidad.

RESERVAS

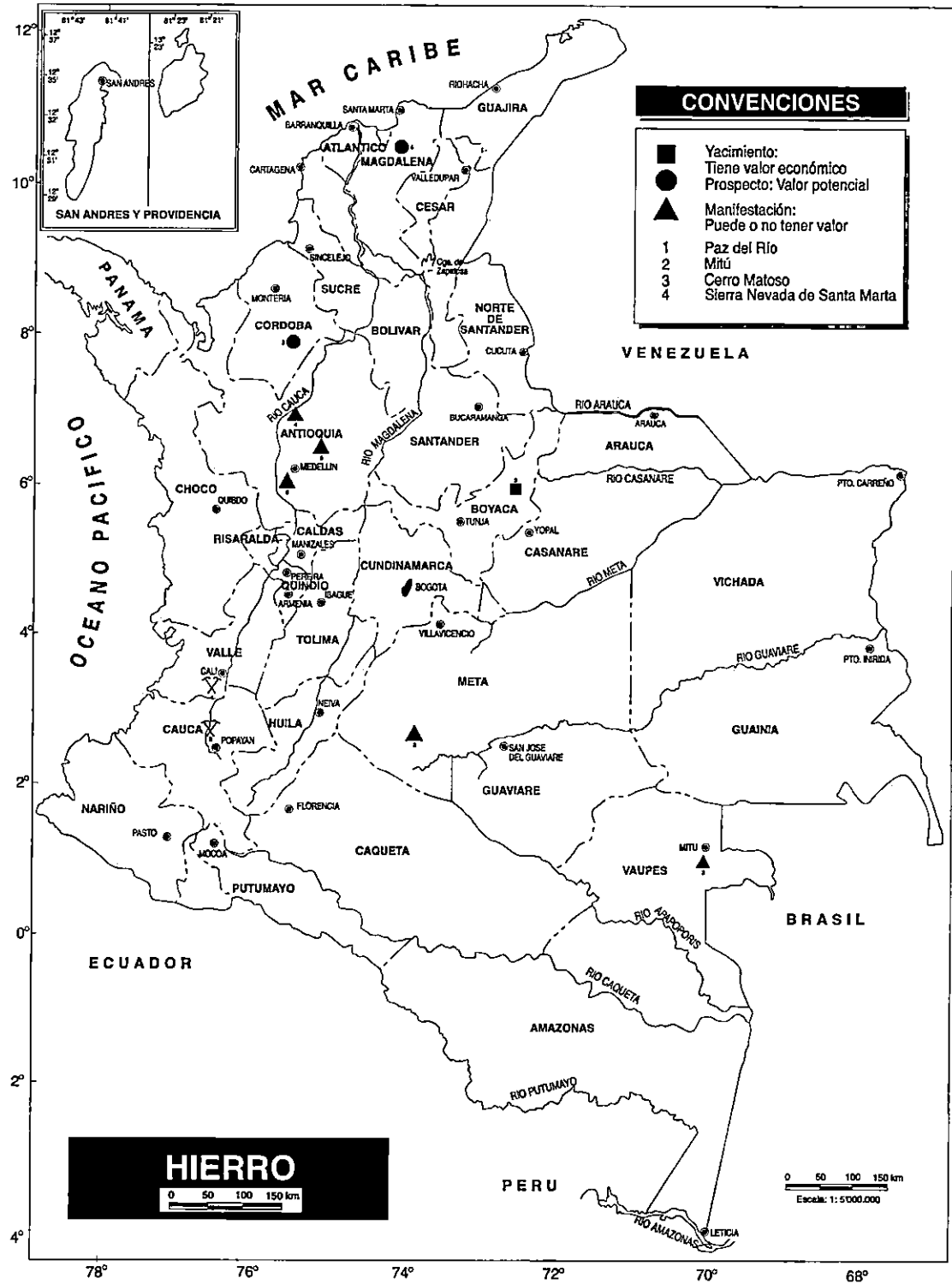
Depósitos de Estratos de Hierro, se conocen en Sabanalarga (Casanare)



Fuente: Boletín mensual de precios de productos básicos. Vol. XIII No. 4 O.N.U. 1993.

LOCALIZACION DE PROSPECTOS Y PROYECTOS MINEROS PARA HIERRO

Figura 5



con una extensión de 15 km y con un espesor entre 2.5 y 4 m.

Los depósitos de hierro, asociados a las rocas ultramáficas de Cerro Matoso y Morropelón son clasificados como lateritas ferralíticas procedentes de enriquecimiento supergénico por procesos químicos en la meteorización de rocas ultramáficas.

En la Sierra Nevada de Santa Marta se presentan prospectos interesantes de segregación magmática tipo kiruna (magnetita, ilmenita, apatito).

TIPOS DE MINERIA

La extracción de mineral de hierro se hace con métodos de minería a cielo abierto y subterránea.

La minería de superficie se hace en forma selectiva utilizando explosivos para su arranque; buldózers, cargadores y volquetas para su cargue y transporte.

En la minería subterránea, debido a la diferencia de buzamientos, se utiliza en la parte de mayor inclinación el método de tambores paralelos y en la de menor inclinación, el de cámaras y pilares.

La explotación cada vez se va profundizando más, lo cual ha implicado una disminución en el porcentaje de recuperación de reservas.

En algunas zonas, se ha complementado la explotación con la implementación del método de derrumbe dirigido, para mejorar así, el porcentaje de extracción.

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION

La producción de mineral de hierro y acero en el país en forma industrial se inició con la creación de la Empresa Siderúrgica de Paz del Río, la cual comenzó a producir aceros en la década del 50. Esta Siderúrgica se abastece de los yacimientos de hierro oolítico descubierto en 1942, el carbón de Paz del Río (Mina de la Chapa) y Samacá y las calizas de Belencito.

Hasta hace pocos años la Ferretería de Pacho y la Compañía Colar (Cundinamarca), procesaron pequeñas cantidades de Mineral de Hierro proveniente de Pacho, Pericos y pequeños yacimientos en la región del Guavio (Cundinamarca).

Las Siderúrgicas: Fundiciones Técnicas (Futec) Medellín; Siderúrgica de Medellín S.A. (Simesa) Medellín; Metalúrgica de Boyacá (Metalboyacá); Siderúrgica del Muña (Sidemuña); Metalúrgica del Norte (Sidenor); Acería Bogotá y Siderúrgica del Pacífico (Sidelpa); procesan chatarra de hierro y acero.

En Colombia la industria siderúrgica emplea los procesos integrado y semi-integrado. Acerías Paz del Río emplea el sistema integrado o de sinterización, teniendo en cuenta la calidad del mineral de hierro, la reducción en el consumo del coque y la caliza.

Por este sistema se aprovechan por aglomeración los finos del mineral de hierro, carbón y caliza.

Posteriormente se carga la mezcla constituida por el sinter, la caliza, el carbón y el hierro, en el alto horno, el cual funciona con el sistema de inyección de oxígeno y fuel oil, y por reacciones químicas se reducen el oxígeno del hierro y otras impurezas, obteniéndose el arrabio bruto y la escoria. El arrabio líquido al salir del alto horno se transporta a un mezclador y se vierte en convertidores en donde se le adiciona cal y ferroaleaciones para eliminar impurezas y producir diferentes tipos de aceros. El acero líquido se vierte posteriormente para obtener lingotes de sección rectangular y sección cuadrada, para producir aceros planos y no planos.

El proceso semi-integrado es utilizado por Simesa Futec, Metalboyacá, Sidemuña, Sidenor y Sidelpa. Dichas empresas funden la chatarra en hornos eléctricos, añadiéndole ferromanganeso, ferrosilíceo, ferromolibdeno y ferrosilicomanganeso para la obtención de diferentes clases de aceros, especialmente barras redondas, platinas, varillas corrugadas, perfiles livianos, ángulos, cuadrados, perfiles y alambón.

APLICACIONES INDUSTRIALES

La producción de acero en Colombia se debe fundamentalmente a los productos elaborados por Acerías Paz del Río con el procesamiento integrado: corresponde a un 45% de la producción nacional y el resto a las siderúrgicas semi-integradas.

La producción nacional, en general corresponde a aceros planos, no planos y especiales de los cuales se elaboran barras, alambrados, perfiles me-

Tabla 10
PRODUCCION COLOMBIANA DE MINERAL DE HIERRO,
LINGOTES DE ACERO Y ARRABIO
 (Miles de toneladas)

AÑO	MINERAL DE HIERRO	MILL. DE PESOS CTES.	LINGOTES DE ACERO	ARRABIO
1986	515.04	1.393	337.835	234.000
1987	606.784	2.097	355.941	326.000
1988	614.727	2.825	337.941	309.000
1989	567.353	2.678	324.211	298.000
1990	628.257	4.523	355.803	323.000
1991	685.490	6.147	328.550	305.000
1992	673.379		305.524	

Fuente: Revista del Banco de la República, diciembre 1991, y Memorias al Congreso Nacional 1991 - 1992, Tomo I.

dianos, rieles, tuberías, perfiles pequeños y flojos. Los productos antes mencionados son absorbidos por la industria de la construcción y metalmeccánica. Sin embargo, la producción no es suficiente para el consumo interno, por lo cual el país tiene que importar chatarra de acero y algunos productos semielaborados.

Características del Mercado

DEMANDA - OFERTA

La producción nacional no supe la demanda y por tal razón las importaciones de aceros terminados, desde 1974, ha complementado la producción del país. Aparentemente, este fenómeno permanecerá mientras la ca-

pacidad instalada (de la mina y la planta) no sea optimizada, el costo de producción no sea reducido y la calidad de los aceros nacionales no sea mejorada.

En cuanto a las exportaciones, éstas solamente corresponden a menos del 2%, para el período 1986-1991, las exportaciones anuales de acero terminado fluctuaron entre 7.000 y 10.000 toneladas.

La producción de mineral de hierro y de lingotes de acero en los últimos 6 años se presenta en la tabla 10, la producción colombiana comparada con América Latina (Tabla 11) corresponde a la de un país subdesarrollado,

Tabla 11
PRODUCCION DE MINERAL DE HIERRO EN LATINOAMERICA
 (Miles de toneladas)

PAIS	1987	1988	1989	1990	1991 p
Brasil	151.500	146.002	153.700	160.250	159.320
Venezuela	17.200	17.600	19.02	21.200	21.350
Chile	8.691	7.865	8.761	8.250	8.420
México	4.965	5.569	5.116	5.225	5.190
Colombia	607	615	567	628	685

Fuente: Mining Annual Review y Memorias al Congreso Nacional, 1991 - 1992, Tomo I. p= preliminar

en tanto que Brasil, Venezuela, Chile y México pertenecen al grupo de los países que iniciaron su desarrollo.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAIS

Nivel Minero

En el aspecto local, Colombia no sólo por sus escasas reservas potenciales (Medidas + Indicadas + Inferidas), sino por la calidad de sus minerales de hierro, debe pensar en el mercado internacional del mineral de hierro y como sus vecinos de América Latina (Venezuela, Brasil, Perú, Chile y Bolivia) ocupan la vanguardia como exportadores del mineral de hierro a nivel mundial y su posición geográfica es ventajosa, puesto que en cada uno de sus dos océanos hay por lo menos dos países exportadores que por su cercanía, y a través del trueque, la comercialización del mineral de hierro no sería tan onerosa para el país.

El potencial del país es relativamente bajo y se concentra únicamente en dos áreas: Sierra Nevada de Santa Marta (Arco de Sevilla), donde existen prospectos interesantes de segregación magmática tipo Kiruna (Magnetita, ilmenita, apatito) y Mitú donde aparecen depósitos de hierro oolítico y algunos estratos de itabiritas.

Nivel Industrial

Colombia para ingresar al mercado internacional e inclusive regional (Pacto Andino) necesita reestructurar su industria siderúrgica actual.

Teniendo en cuenta las reservas disponibles y su calidad, debe realizarse un estudio de prefactibilidad para establecer una planta siderúrgica que procese chatarra en uno de los puertos sobre cualquiera de los dos océanos.

Esta planta siderúrgica debe estar de acuerdo con la evolución tecnológica actual y sus hornos deben ser de arco eléctrico (EAF), sistema que ha ganado primacía a expensas del sistema horno de base oxígeno (BOF); así mismo, es necesario tener en cuenta la disponibilidad de calizas y carbón coquizable, así como la facilidad de distribuir los productos finales a los sitios de consumo. Es importante considerar

que en la nueva tecnología existe la tendencia a utilizar carbones de baja calidad e inyectar en los hornos, carbón pulverizado (PCI), lo cual ofrece la posibilidad de emplear una menor cantidad de carbón coquizable, si los hornos modernos del sistema EAF consumen únicamente chatarra no necesitarían carbón coquizable.

RECOMENDACIONES

■ La única posibilidad de ampliar las reservas nacionales, en la actualidad, está soportada en la exploración y evaluación del prospecto de

segregación magmático (hierro, titanio y fósforo) localizado en el Arco de Sevilla, en una zona muy cercana a la costa del Caribe con buenas condiciones de logística e infraestructura. Además estarían disponibles y relativamente cerca los depósitos de carbón térmico y gas de la Guajira.

■ El actual sistema siderúrgico colombiano para permanecer en el mercado debe mejorar sus productos finales, reduciendo al mínimo sus costos de producción y adecuándose a las actuales regulaciones ambientales.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas Mundiales de Hierro Millones de toneladas largas (Mtl).
- TABLA 2. Situación Prevista (1992-1996) de la Producción de Acero y del Mercado Marítimo Internacional del Carbón Coquizable y del Mineral de Hierro. Millones de toneladas (Mt).
- TABLA 3. Producción Mundial de Mineral de Hierro 1992. Millones de toneladas (Mt).
- TABLA 4. Consumo de Chatarra de Hierro y Acero por Países. Millones de toneladas cortas (Mtc).
- TABLA 5. Exportaciones de Chatarra de Hierro y Acero por Países. Millones de toneladas cortas (Mtc).
- TABLA 6. Importaciones de Chatarra de Hierro y Acero por Países. Millones de toneladas cortas (Mtc).
- TABLA 7. Capacidad Mundial de Producción de Hierro y Acero. Millones de toneladas (Mt).
- TABLA 8. Producción Mundial de Arrabio. por Países. Millones de toneladas cortas (Mtc).
- TABLA 9. Recursos de Mineral de Hierro en Latinoamérica. Millones de toneladas (Mt).
- TABLA 10. Producción Colombiana de Mineral de Hierro, Lingotes de Acero y Arrabio. Miles de toneladas (mt).
- TABLA 11. Producción de Mineral de Hierro en Latinoamérica. Miles de toneladas (mt).

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Recursos y Reservas Mundiales de Mineral de Hierro. Billones de toneladas largas (Btl).
- FIGURA 2. Curvas de Producción y Consumo Mundial de Hierro.
- FIGURA 3. Producción Mundial de Mineral de Hierro (1950-1990)
- FIGURA 4. Precios Mundiales del Hierro (1990 - 1993).
- FIGURA 5. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Hierro.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, Varios Años.

BUREAU OF MINES 1987. An appraisal of Mineral Availability for 34 Commodities, Bureau of Mines Bulletin 692, USA.

LA POTENCIALIDAD DE LA MINERIA DEL HIERRO EN AMERICA LATINA, LATINOAMERICA, Vol. 1 No. 3, Mayo 1992.

MINERALS YEARBOOK, 1986, United States of the Interior, Bureau of Mines, Washington D.C.

MINERALS YEARBOOK, 1987, United States of the Interior, Bureau of Mines, Washington D.C.

MINERALS YEARBOOK, 1988, United States of the Interior, Bureau of Mines, Washington D.C.

MINING ANNUAL REVIEW, 1987, Published by Mining Journal, London.

MINING ANNUAL REVIEW, 1988, Published by Mining Journal, London.

MINING ANNUAL REVIEW, 1989, Published by Mining Journal, London.

MINING ANNUAL REVIEW, 1990, Published by Mining Journal, London.

MINING JOURNAL, 1991. Growth Prospects for Iron Ore and Coking Coal, Vol. 317, (8146).

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, Memorias al Congreso Nacional, Tomo 1. Bogotá.

REVISTA DEL BANCO DE LA REPUBLICA. Diciembre de 1991. Bogotá, 1991.

STANTON, R. L., 1972. Ore Petrology, McGraw-Hill Book Company, New York.

ULLOA, C., 1987. - Minerales de Hierro: en Recursos Minerales de Colombia, Segunda Edición, Tomo I, Pub. Geol. Especial del INGEOMINAS. Bogotá.

NIQUEL

Luis E. Jaramillo C. ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

Depósitos comerciales de níquel a nivel mundial se presentan asociados a rocas básicas y ultrabásicas, en dos tipos de mineralizaciones: sulfuros y lateritas niquelíferas.

- En los depósitos de sulfuros, el níquel muestra concentraciones alrededor de 1%; se presenta asociado con sulfuros de cobre y hierro y pequeñas cantidades de cromo, cobalto y metales del grupo del platino. Los mayores depósitos se presentan en Canadá (1.47% Ni), Australia (2.39% Ni) y la antigua URSS (1.58% Ni).
- Lateritas Niquelíferas se generan por meteorización química de rocas ultrabásicas en regiones tropicales. Contienen usualmente níquel en forma de óxidos y silicatos con tenor promedio entre 0,8% y 2,5% Ni. Cuba, Australia, Nueva Caledonia, Indonesia, República Dominicana y Colombia poseen las mayores reservas. En nuestro país, Cerro Matoso S.A. (CMSA) explota en la actualidad el mineral con mayor tenor de níquel a nivel mundial: (2,6-3,2%).

Las reservas mundiales de mineral de níquel con base en los parámetros económicos actuales alcanzan 4870 millones de toneladas métricas, con Cuba, Canadá y la URSS en los primeros lugares. Colombia ocupa el décimo lugar con 50 millones probadas en CMSA (1,15% de las reservas mundiales). Estudios recientes indican que esta cifra podría llegar a duplicarse en un futuro cercano. A nivel mundial, del total de reservas conocidas, el 35% corresponde a sulfuros y el 65% a lateritas niquelíferas. Latinoamérica posee el 41% del total de reservas; no obstante, en 1989 solo alcanzó el 7% de la producción mundial. La región claramente presenta un mayor potencial para el suministro de níquel en el futuro.

La minería de los depósitos de sulfuros se realiza en un 80% por métodos subterráneos, un 15% por métodos superficiales y cerca de 5%

(1) Universidad Nacional de Colombia
Profesor Asociado, Geociencias.

(Botswana) por combinación de métodos superficiales y subterráneos. La casi totalidad de las lateritas se explotan a tajo abierto aprovechando la presencia de sedimentos inconsolidados de orientación predominantemente horizontal lo cual conlleva una alta tasa de producción y bajos costos. Cerro Matoso explota a tajo abierto en bancos de 7 m de altura, con equipos de excavación convencionales y a costos muy competitivos.

El mineral beneficiado alcanza unas 850.000 toneladas métricas/año, para una producción actual de 45 millones de libras de níquel contenido en ferromníquel, con un tenor de 42% de níquel.

Estructura de la Industria

Dentro del proceso industrial, el mineral (mena) y los concentrados de níquel se consideran productos primarios y sólo representan una mínima parte de su comercialización, pues requiere transformación antes de su uso industrial.

Los productos secundarios o semielaborados representan el mayor volumen de la comercialización siendo los más comunes el mate de níquel, el ferromníquel, los óxidos y el metal refinado electrolíticamente.

Dentro de los productos terciarios, el acero inoxidable (6-8% Ni), constituye la base de los productos finales o terminados. Entre el 60 y 70% del níquel derivado de los productos primarios y secundarios se consume en aceros inoxidables, que contienen ade-

más cantidades importantes de cromo (10-20% Cr) y cantidades menores de carbono, silicio, manganeso, azufre y otros elementos.

Dentro de los aceros inoxidables, los austeníticos (altos en Ni, series 200 y 300 en la industria) representan el 75% del consumo total y constituyen la base de la industria de utensilios domésticos, plantas procesadoras de petróleo, químicos, papel y alimentos.

Los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos (bajos en Ni, serie 400 en la industria) resistentes a la corrosión, se usan en revestimiento de láminas y tuberías, estructuras para la industria de la construcción y también en las industrias química y de alimentos.

Una pequeña cantidad de aceros austeníticos y ferríticos del producido a nivel nacional por Sidelpa S.A., con destino al mercado nacional y algunos excedentes menores para exportación.

Siendo el ferromníquel la materia básica para la industria del acero inoxidable, en el caso de Colombia constituye una alta prioridad evaluar la viabilidad para el montaje de una planta de acero inoxidable para dar al producto un mayor valor agregado, generar exportaciones y abastecer el mercado nacional. A nivel de orden de magnitud, una planta para producción de unas 100.000 toneladas anuales, podría consumir entre 6000 - 8000 toneladas de níquel, un 35-40% de la actual producción nacional. Dentro de este proyecto, sería importante la identificación de reservas de mineral de cromo a nivel nacional, en

razón a que, después del níquel el cromo es el insumo de mayor valor en la producción de acero inoxidable.

Características del Mercado

DEMANDA

En níquel, ésta es en gran parte controlada por la industria del acero inoxidable que en la actualidad representa cerca de dos tercios del consumo total del metal. Entre 1970-1991 el consumo de níquel en el mundo occidental alcanzó un crecimiento anual promedio del 2%. Sin embargo, en los últimos 5 años ha operado por encima de este promedio alcanzando en 1991 un 3,5% (0,2% por encima de 1990), crecimiento relacionado con los altos consumos de Japón, USA y Europa Occidental para la producción de aceros inoxidables, en especial del tipo austenítico que representa el 77% de la producción total, que en el período 1970-1991, creció a una tasa promedio de 1.6% anual y cuya disponibilidad, en el mismo período, ha sido del orden del 7% anual.

OFERTA

Durante el período 1970-1991, con base en la producción del mundo occidental, esta creció alrededor de 0,9%/año, un 50% más bajo que el crecimiento del consumo. Sin embargo, es necesario resaltar que en la década de los 80 creció la producción de los países de economía centralizada generando el incremento abrupto de sus exportaciones a niveles que alcanzaron 210.000 toneladas en 1991, sobre un total mundial de 900.000 toneladas (23,3% de la producción). La pro-

ducción anual en los años 90 y 91 corresponde a un 70% de la capacidad instalada. En cuanto a la producción de acero inoxidable en 1991, ésta se redujo en cerca de 10,3 millones de toneladas con relación a 1990, debido en gran parte a la utilización de chatarra de acero y a la salida al mercado de gran parte de las existencias (stocks) acumuladas.

PRECIO

El valor del níquel en los últimos años (1987-1991) ha tenido un comportamiento inusual. En 1988 experimentó un brusco incremento a niveles de US\$7,50/lb, cuando en 1987, estuvo por los US\$2,50/lb. En 1989 bajó hacia los US\$5,20/lb. En 1990-1991 se presentó una reducción causada en parte por la sobreoferta de chatarra de acero inoxidable, salida al mercado de una buena parte de las existencias (stocks) y mayores exportaciones de la antigua URSS a Europa. El precio promedio en 1990 fue de US\$4,03/lb y en 1991 se estabilizó alrededor de US\$3,70/lb. Los precios de níquel dependen primordialmente de la producción de acero inoxidable, que según los expertos tendrá un crecimiento estable en los próximos 10-15 años.

Proyecciones

Las reservas económicas de mineral de níquel en Australia, la antigua URSS, Nueva Caledonia, Cuba, Sudáfrica y ciertamente Colombia, poseen reservas por lo menos para 50 años de producción, si se consideran reservas marginales o subeconómicas,

países como Brasil, Indonesia y Filipinas podrían superar los 50 años de producción. Europa Occidental, USA y Japón grandes consumidores de níquel, no poseen reservas económicas. Finlandia, Noruega y Grecia, productores actuales, es improbable que aumenten sustancialmente sus reservas. Otra fuente de reservas la constituyen los nódulos polimetálicos; sin embargo, no parece viable que esta fuente de Ni entre al mercado antes de 20 años. Por lo anterior, no se considera en el futuro inmediato un incremento sustancial en la producción de níquel.

Los sustitutos tales como aluminio, titanio y plásticos, hasta ahora no han originado un incremento o disminución en la producción o en el consumo.

El consumo de níquel tiende a estabilizarse de manera consistente con la producción prevista para el futuro. El consumo seguirá dependiendo en un alto porcentaje, de su utilización en la industria del acero inoxidable, éste ha experimentado un incremento en la producción de aceros austeníticos, donde la proporción de níquel es mayor. De esta manera no se prevé grandes cambios en la industria del níquel y por tanto no se esperan modificaciones sustanciales en la proyección de los precios del metal, así éstos puedan fluctuar en ciclos relativamente amplios en el corto plazo.

Dentro de un análisis conjunto de los Minerales Estratégicos para el Desarrollo Minero del País el níquel y el cromo ocupan una alta prioridad, no solamente desde el punto de vista de exploración para ubicar nuevos re-

ursos, sino de la viabilidad de lograr una mayor transformación de la materia prima, especialmente en la elaboración de acero inoxidable. El país tiene por desarrollar un gran potencial de exportación de valor agregado y es totalmente dependiente de las importaciones para manufactura y transformación local en productos de capital y de consumo.

Perspectivas de Desarrollo en el País

Colombia debe considerar prioritario el desarrollo minero-industrial de níquel, a través de los siguientes proyectos:

- Exploración Regional para níquel y metales asociados a rocas ultrabásicas de la parte sur del sistema de fallas de Romeral y acumulaciones mecánicas relacionadas.
- Revaluación de las reservas marginales de Cerro Matoso, Planeta Rica y Uré.
- Revaluación del potencial de la "canga" de CMSA con énfasis en una utilización de hierro y metales asociados, en aleaciones de alta capacidad de esfuerzo.
- Revisión y actualización de los estudios realizados sobre la escoria de CMSA, como materia prima para la producción de fertilizantes magnesianos, o su mezcla con roca fosfórica para la producción de termo-fosfatos.
- Viabilidad técnico-económica para el montaje de una planta de acero inoxidable en Colombia, mediante la utilización de ferromanganeso producido por CMSA.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO

El níquel ocupa el 24º lugar, por su abundancia dentro de la corteza terrestre, donde presenta un contenido promedio de 0,008%. Muestra una mejor concentración en rocas básicas y ultrabásicas, en las cuales alcanza un promedio de 0,2%. Genéticamente relacionadas con estas rocas, se presentan concentraciones económicas que constituyen dos tipos de depósitos: sulfuros y lateritas níquelíferas.

En los depósitos de sulfuros, el níquel se presenta en forma de petlandita (NiFe)₂S₂, asociada normalmente con calcopirita (CuFeS₂), pirrotita (FeS) y en menor proporción, piritita (FeS₂).

El contenido promedio en estos depósitos es alrededor del 1%. Depósitos representativos de países productores muestran una amplia variación en el contenido del metal (Roskill, 1991): Australia (2,39%) URSS (1,58%), Canadá (1,47%), China (1,11%), Botswana (1,02%), Albania (1,00%), Zimbawe (0,71%), Finlandia (0,63%), Filipinas (0,56%), USA (0,44%) y Sur Africa (0,31%).

Las lateritas níquelíferas se generan por meteorización química de rocas ultrabásicas en regiones tropicales. Contienen usualmente entre 0,8 y 2% de níquel y entre 44 y 55% de hierro. El níquel normalmente se presenta en

Tabla 1
CONTENIDO PROMEDIO DE NÍQUEL EN DEPOSITOS LATERITICOS

PAIS	% NI (Óxidos)	% NI (Silicatos)
Australia	1,3	-
Brasil	1,2 - 1,5	1,5 - 1,9
Colombia	1,5	2,6 - 3,2
Cuba	1,3 - 2,0	-
Rep. Dominicana	1,2 - 2,0	-
Guatemala	1,8	-
Indonesia	1,3 - 1,6	1,6 - 2,2
Filipinas	0,8 - 1,2	2,2
Nueva Caledonia	-	1,5 - 2,7
Venezuela	1,6	-

Fuente: ROSKILL, Information Services 1991.

silicatos (grupo de la garnierita) y óxidos. A continuación se presentan promedios de níquel en lateritas (Tabla 1).

Colombia conjuntamente con Nueva Caledonia presenta los más altos contenidos de níquel en depósitos lateríticos.

Tabla 2
RESERVAS DE NIQUEL A NIVEL MUNDIAL

PAIS	DE NIQUEL (miles de toneladas)
Cuba	18144
Canadá	8131
URSS	6622
Nueva Caledonia	4536
Indonesia	3200
Sur Africa	2540
Australia	1270
China	726
Brasil	667
Colombia (1)	558
Otros	2263
TOTAL (2)	48.657

(1) Corresponde aproximadamente a 50 millones de toneladas medidas en Cerro Matoso S.A. con tenor promedio de 2,6% Ni.

(2) Del total de reservas, aproximadamente el 35% corresponde a depósitos de sulfuros y 65% a lateritas níquelíferas.

SITUACION DE LAS

RESERVAS MUNDIALES

Los países con mayores reservas explotables, estimadas con base en parámetros económicos actuales (1991) se presentan en la tabla 2.

Latinoamérica posee el 41% de las reservas mundiales de níquel. No obstante, en 1989 sólo alcanzó el 7% de la producción mundial.

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

Una fuente probable de suministro de níquel en el futuro son los nódulos polimetálicos. En el Océano Pacífico en la zona de Clarión-Clipperton, donde han sido explorados con algún detalle, los nódulos presentan un contenido promedio de: 19% Mn, 0,9% Ni, 0,7% Cu y 0,3% Co. La potencial explotación de estos nódulos en un futuro cercano podría rebajar sustancialmente los precios del níquel y del cobre y traumatizar el mercado del cobalto. Sin embargo, bajo las actuales circunstancias, con una demanda creciente pero moderada de estos metales, las elevadas inversiones requeridas para su desarrollo y los problemas de tipo legal sin resolver, descartan una explotación antes del año 2010.

TIPOS DE MINERIA

En los depósitos de sulfuros, la explotación se realiza en un 80% por métodos subterráneos, un 15% por minería superficial y alrededor del 5% (Botswana) por combinación de los dos métodos. La minería subterránea utiliza métodos de explotación masiva como hundimientos de bloques (Block

Caving), cuyo costo es ligeramente superior al de la minería o cielo abierto.

Otros métodos utilizados son el de cámaras y pilares, tajo relleno y corte y relleno, los cuales representan un notable incremento en los costos mineros.

La casi totalidad de las lateritas niquelíferas son explotadas por métodos superficiales. La presencia de sedimentos inconsolidados en posición horizontal, facilita la operación con equipos convencionales de gran tamaño, buldózers, excavadoras y camiones, dando como resultado una alta tasa de producción con bajos costos. Sin embargo, es necesario advertir que el costo en lateritas no es tan bajo como en pórfidos cupríferos, debido a la complejidad de la mena de óxidos y silicatos, lo cual requiere en muchas ocasiones una minería selectiva en parches y formas irregulares, con incremento en los costos de producción.

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA

Los minerales primarios de níquel, tanto de los sulfuros como de las lateritas niquelíferas, son sometidos a procesos de concentración, tostación, fundición y refinación para obtención de los productos comerciales que sirven de base a la industria.

Dentro de la materia prima se incluyen el mineral de mena, los concentrados y el mate de níquel, solamente una mínima parte del níquel se comercia como mineral de mena o concentrados. Indonesia, Nueva Caledonia y Filipinas registran pequeñas ex-

portaciones a Japón. Noruega exporta pequeñas cantidades a Finlandia.

El mate de níquel constituye un producto intermedio que es utilizado para la obtención del metal refinado. Los mayores exportadores de mate son: Canadá, Australia, Botswana y Nueva Caledonia y los mayores importadores: Japón, Canadá, Suecia e Italia. El comercio de mate alcanzó en 1989 una cifra cercana a las 200.000 toneladas (níquel contenido).

PRODUCTOS SEMIELABORADOS

Sobre los cuales se realiza la mayor parte de la comercialización se destacan: los óxidos, el ferroníquel y el níquel refinado, siendo más importantes los dos últimos.

El óxido de níquel que contiene alrededor del 75% Ni, es utilizado básicamente en ferroaleaciones, incluyendo acero inoxidable.

El ferroníquel, el de mayor participación en las ferroaleaciones, es obtenido de materiales lateríticos altos en hierro. Su contenido en níquel metálico fluctúa entre 20 y 50%. Los principales productores son Nueva Caledonia, República Dominicana, Grecia, Colombia e Indonesia y los principales consumidores los países industrializados de Europa, USA y Japón.

En 1989 el comercio de ferroníquel alcanzó la cifra de 304.000 toneladas (níquel contenido).

El metal refinado se utiliza básicamente en aleaciones y en la producción de acero inoxidable. Los princi-

pales exportadores en los últimos años han sido Noruega y Canadá siendo USA, Alemania Occidental, Japón, Inglaterra y Francia los principales consumidores. El comercio en 1989 alcanzó una cifra de 256.000 toneladas (níquel contenido).

En síntesis, sobre una cifra alrededor de 760.000 toneladas en 1989, el mate contribuyó con un 26%, el ferroníquel con un 40% y el níquel refinado con un 34%, el material de mena así como los óxidos de níquel representan sólo una mínima parte del comercio.

PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES

El acero inoxidable constituye el producto final más importante dentro de la utilización del níquel. En 1989 y 1990 el uso del níquel en la elaboración de acero inoxidable alcanzó más del 60% del consumo total del metal.

Los aceros inoxidables presentan contenidos de níquel entre 6 y 15% Ni, siendo el cromo el otro metal importante con contenidos que varían entre el 8 y 24% Cr. La presencia de estos metales representa una mayor resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas. Así mismo a condiciones atmosféricas extremas, siendo utilizados también en las industrias: eléctrica, química y petroquímica. Los aceros inoxidables presentan además pequeñas cantidades (entre 0,1 y 2%) de manganeso, carbono, fósforo, silicio, azufre y molibdeno.

En términos generales los aceros inoxidables se clasifican en tres tipos:

austeníticos, martensíticos y ferríticos.

■ Los austeníticos con contenidos mínimos del 7% Ni, representan cerca del 75% del consumo total del níquel en aceros inoxidables. En el comercio son conocidos como aceros de las series 200 y 300. Poseen una excelente resistencia a temperaturas altas y bajas y a la corrosión ácida. Sus mayores aplicaciones se presentan en utensilios de cocina y otros artículos familiares, cuchillos y herramientas de corte en general y plantas procesadoras de petróleo, químicos, papel y alimentos. Se comercializa en forma de láminas, platinas, rodillos y tubos.

■ Los aceros martensíticos y ferríticos son conocidos en el comercio dentro de la serie 400. Los primeros tienen un contenido de carbono superior al 0,15% C y proporción de níquel alrededor de 1% Ni. Combinan una elevada dureza con una alta resistencia a la corrosión y son utilizados en revestimientos de láminas y tuberías para acarreo en las industrias química y eléctrica. Son los que presentan un menor precio dentro de los aceros inoxidables.

■ Los ferríticos contienen una menor proporción de carbono. Poseen una buena resistencia a la corrosión, a grandes esfuerzos y reaccionan favorablemente a los procesos de soldadura. Son utilizados en la construcción y en las industrias química y de alimentos.

Otros productos finales de níquel, pero cuyo consumo es mucho menor que el de los aceros inoxidables incluye: moldes de hierro, aleaciones de níquel-cobre, utilizadas en intercambios de calor y aplicaciones marinas;

platinas de níquel para catalizadores, baterías de níquel-cadmio, imanes de alto poder, monedas, cerámica, vidrio y algunos pigmentos. Aleaciones especiales de níquel molibdeno, se utilizan en plantas desulfuradoras y revestimiento de níquel-zinc, en la industria de autos, circuitos integrados y plantas de incineración para desechos.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

El principal problema ambiental asociado con la producción de níquel a partir de sulfuros es la emisión de dióxido de azufre (SO_2) en el proceso de fundición. El SO_2 emitido se combina con la atmósfera para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4), un componente importante de la lluvia ácida. Los productos de níquel a partir de sulfuros, tienen una carga particularmente alta de azufre comparada con otros productores de metales, tales como cobre y zinc.

En las lateritas, el azufre se presenta en menor cantidad y puede ser controlado por procesos de desulfuración. Alguna cantidad puede escapar en el proceso de fundición. La disposición de estéril y escoria es controlable y no presenta mayores proble-

mas para adelantar procesos de restauración.

Características del Mercado

DEMANDA

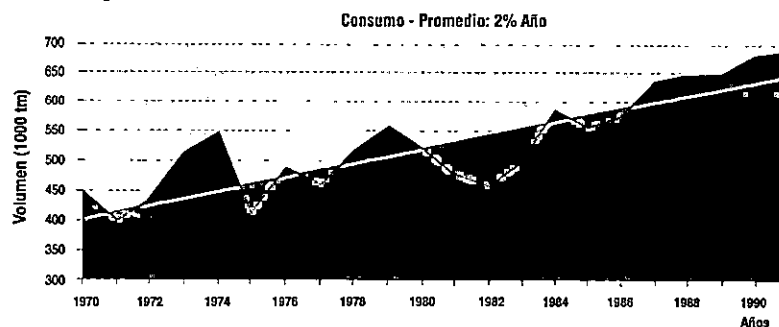
La demanda de níquel está controlada por la producción de acero inoxidable que en la actualidad representa dos tercios del consumo total del metal. Durante el período 1970-1991 el consumo de níquel en el mundo occidental alcanzó un crecimiento promedio anual del 2%, sin embargo a partir de 1986 la industria ha operado por encima de este promedio experimentando un 3,5%, en 1991 0,2% por encima de 1990 (Figura 1).

El crecimiento está relacionado con los altos consumos de USA y Japón, especialmente en la producción de acero inoxidable dentro de la cual, se ha incrementado la proporción de aceros austeníticos (77% del total de los aceros inoxidables producidos), que presentan un alto contenido de níquel.

Aunque los productores de acero inoxidable tuvieron una buena demanda (1990-1991), las márgenes de ren-

CONSUMO DE NIQUEL EN EL MUNDO OCCIDENTAL

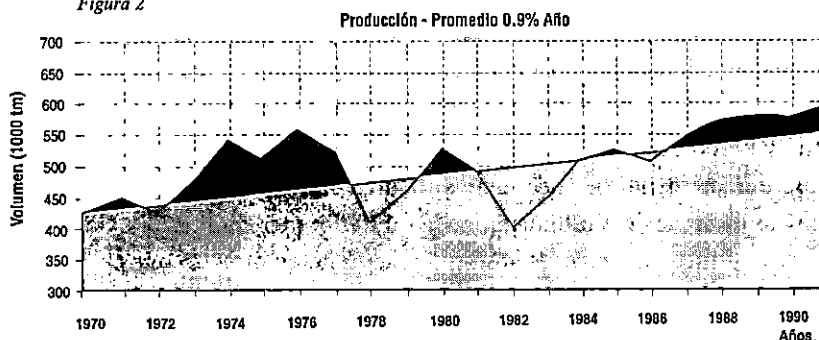
Figura 1



Fuente: Modificada de Engineering and Mining Journal, 1992.

PRODUCCION DE NIQUEL EN EL MUNDO OCCIDENTAL 1970 - 1991

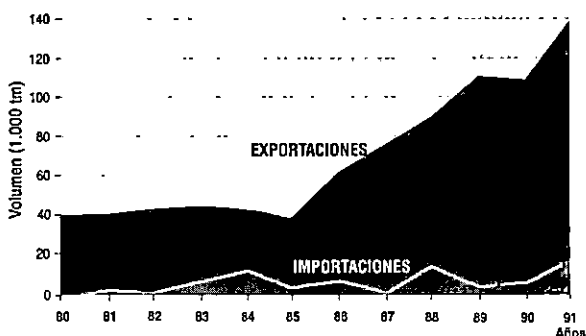
Figura 2



Fuente: Modificada de Engineering and Mining Journal, 1992.

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE NIQUEL 1980 - 1991, EN PAISES DE ECONOMIA CENTRALIZADA

Figura 3



Fuente: Modificada de Engineering and Mining Journal, 1992.

tabilidad fueron muy modestas. Otro elemento importante que influye en la demanda de níquel es la utilización de la chatarra de acero inoxidable, la cual en el período 1970-1991, creció a una tasa de 1,6% anual y cuya disponibilidad en el mismo período fue del 7,1% anual.

OFERTA

Durante el período 1970-1991 la producción de níquel en el mundo occidental creció en un 0,9%/año (Figura 2) aproximadamente un 50% más bajo que el crecimiento del consumo.

Uno de los factores que condujeron a esta situación se puede citar en la década del 80, el crecimiento significati-

vo de la producción de níquel en los países de economía centralizada, generando un crecimiento abrupto de sus exportaciones (Figura 3).

Lo anterior produjo un equilibrio en la producción mundial. Esta, en los años 1990-1991, ha girado alrededor de 900.000 toneladas de

níquel, de las cuales unas 590.000 corresponden al mundo occidental y cerca de 210.000 a los países de economía centralizada (23,3% del total). Durante estos mismos años, la producción total alcanzó un 70% de la capacidad instalada. La producción de acero inoxidable en 1991 se redujo en cerca de los 10,3 millones de toneladas con relación a 1990, debido en gran parte, a la utilización de chatarra de acero y a la salida al mercado de gran parte de las existencias (stocks) acumuladas.

PRECIOS

En los últimos años (1987-1991) el precio del níquel ha tenido un com-

portamiento inusual. En 1988 experimentó un brusco incremento a niveles de US\$7,50/lb, cuando en 1987 estuvo por los US\$2,50/lb. En 1989 en el período 1990-1991 se experimentó una reducción causada en parte por la sobreoferta de chatarra de acero inoxidable y también por la salida al mercado de una buena parte de las existencias (stocks) y a las mayores exportaciones hacia Europa Occidental de los países de economía centralizada. El precio promedio en 1990 fue de US\$4,03/lb, y en 1991 se estabilizó alrededor de US\$3,70/lb. Los precios del níquel seguirán dependiendo en alto porcentaje de la producción de acero inoxidable, que según los expertos debe mostrar un incremento moderado, pero estable en los próximos 10-15 años.

Proyecciones

Las reservas económicas de mineral primario identificadas en países como Australia, la antigua URSS, Nueva Caledonia, Cuba, Suráfrica y Colombia son suficientes por lo menos para 50 años de producción, si se consideran reservas marginales o subeconómicas, países como Brasil, Indonesia y Filipinas podrían superar los 50 años de producción. Los países de Europa Occidental, USA y Japón, grandes consumidores de níquel, no poseen reservas económicas. Finlandia, Noruega y Grecia, productores en la actualidad, es improbable que aumenten sustancialmente sus reservas y los nódulos polimetálicos, son poco probable que entren al mercado antes del año 2010. Con base en lo anterior, no se espera un incremento sustancial

en la producción de níquel en el cercano y mediano futuro.

Las existencias de níquel (stocks), han rebajado notoriamente y la utilización de chatarra de acero inoxidable parece estancarse. Los sustitutos tales como el aluminio, titanio y plásticos, normalmente no originan un incremento o disminución en el consumo de níquel.

Hacia el futuro el consumo de níquel tiende a estabilizarse con un crecimiento promedio entre 1 y 2% anual, aunque esta cifra puede superarse por los nuevos usos del metal. En efecto hay un crecimiento de las superaleaciones y aleaciones no ferrosas especialmente en la industria de la aviación, la industria de baterías de níquel-cadmio y próximamente níquel-hidrógeno y níquel-zinc, estas últimas para vehículos eléctricos. Parte de este crecimiento puede ser compensado por una baja en la utilización del níquel en moldes y en la industria química.

El consumo de níquel seguirá dependiendo, en alto grado, de su utilización en los aceros inoxidables, en los cuales se ha experimentado un incremento notable de los austeníticos, que presentan un mayor contenido de níquel.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO

Colombia forma parte del Arco del Caribe, estructura geológica relacionada con el proceso de tectónica de

placas. Durante el Mesozoico se generaron intrusiones básicas y ultrabásicas a las cuales están relacionados importantes depósitos de níquel en Guatemala, Cuba, República Dominicana y Colombia. En estos países la producción proviene de yacimientos lateríticos formados por alteración hidrotermal y meteorización de las rocas ultrabásicas. Estas rocas en Colombia, se encuentran alineadas en dirección N-S a lo largo del sistema del fallas de Romeral. (Figura 4).

De los seis prospectos identificados, sólo Cerro Matoso (CMSA) presenta viabilidad económica y se encuentra en producción. Los otros cinco corresponden a Planeta Rica, Uré, Morro Pelón, Ituango y Medellín. El mismo ambiente geológico se prolonga hacia el sur del país con la presencia de cuerpos ultrabásicos en superficie y posiblemente otros cubiertos.

RESERVAS

Las reservas explotables con que cuenta el país están ubicadas en (CMSA) y son del orden de 50 millones de toneladas con un tenor promedio de 2,89% Ni (con base en una ley de corte de 1,5% Ni), lo cual asegura una operación minera de 25 años hasta el 2007, año en que esta fijada la reversión al Estado por parte de la sociedad, la cual en la actualidad muestra la siguiente participación: Billiton: 52,3%, IFI (Estatal) : 47,7%.

Con CMSA, Colombia se constituye en el primer productor de níquel en Suramérica y tercero a nivel Latinoamericano después de Cuba y República Dominicana.

De acuerdo con los estudios evaluatorios, adelantados actualmente por CMSA (Ministerio de Minas y Energía, 1991), la cifra anterior se incrementará en 25,5 millones de toneladas (probadas, probables y posibles) con un tenor promedio de 2,44% Ni. Lo anterior incrementará la vida útil del depósito en otros 25 años.

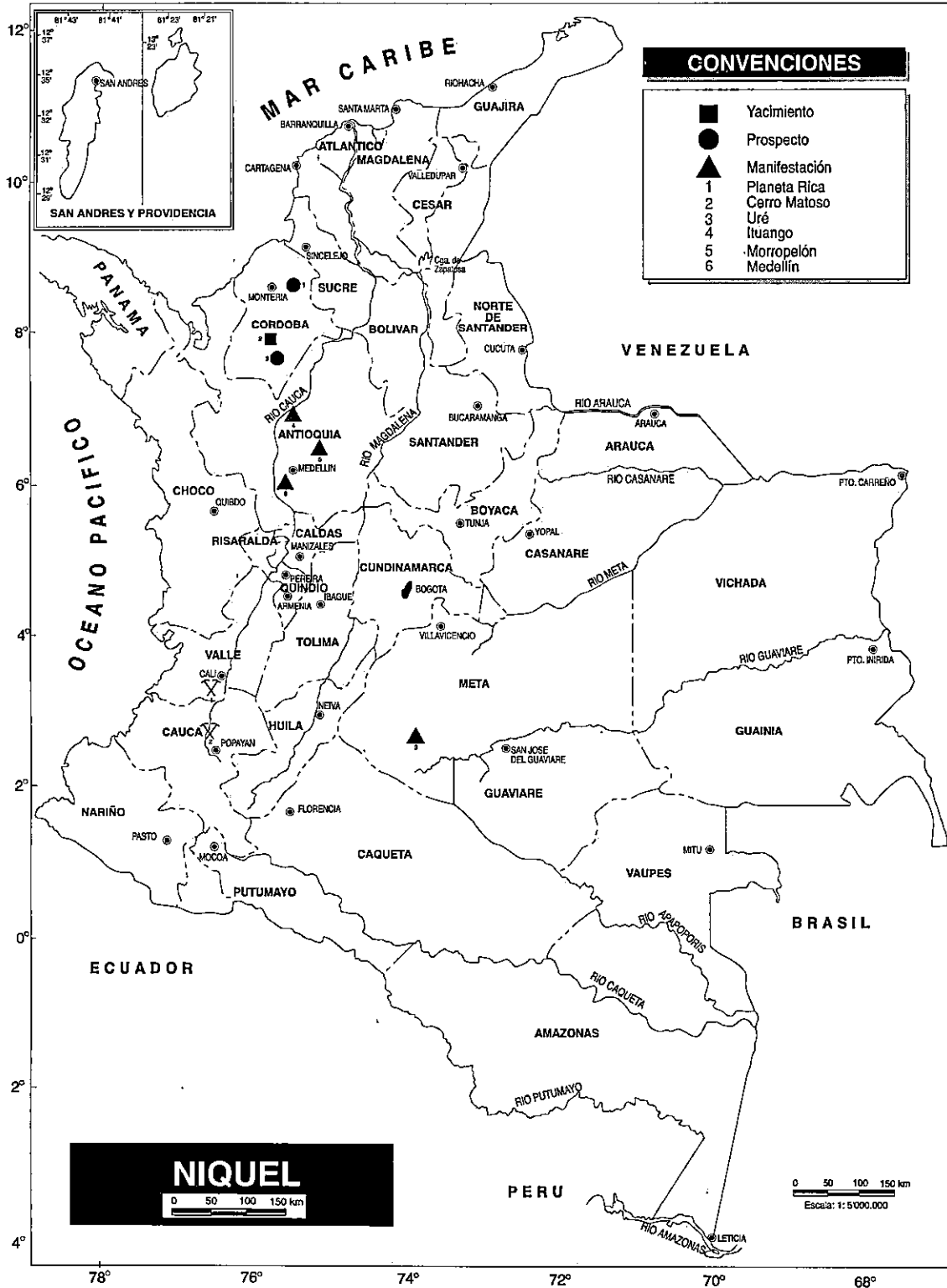
Reservas marginales del mismo depósito, adicionadas con las existentes en los prospectos de Planeta Rica en el Norte y Uré al Sur de CMSA, alcanzarían una cifra del orden de 20 millones con tenor de 1,24% Ni. Las reservas medidas para Planeta Rica son de 5,65 millones con un promedio de 1,46% Ni y Uré con 2,17 millones (medidas, indicadas e inferidas) y un tenor de 1,32% Ni. Estos dos depósitos evaluados aisladamente, no presentan ninguna viabilidad económica y sólo aprovechando la infraestructura actual de CMSA, ubicado a corta distancia, podría ser viable su explotación, siempre y cuando los precios del níquel se mantengan a niveles razonables. Los prospectos de Morro Pelón, Ituango y Medellín no presentan valores significativos.

TIPOS DE MINERIA

El depósito de CMSA, se presenta como una especie de manto en una colina aislada de forma ovalada de 2500 m de longitud y se eleva aproximadamente 200 m sobre el nivel del terreno circundante. Teniendo en cuenta que el mineral (sapolita con óxidos y silicatos de níquel) se presenta en depósitos de poca profundidad en las laderas de la colina, la explotación se realiza por minería a tajo abierto me-

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA NIQUEL

Figura 4



dante la utilización de equipo convencional. Tanto el descapote como la minería se efectúan en bancos de 7m de altura, con equipos de excavación y acarreo. Cerca del 25% de mineral a excavar, requiere de voladuras con un consumo moderado de explosivos. La relación de descapote a mineral es de aproximadamente 1:1. El mineral beneficiado alcanza una cifra del orden de 850.000 toneladas métricas anuales para una producción de 45 millones de libras de níquel contenido en ferroníquel.

Estructura de la Industria

La industria nacional relacionada con el níquel puede sintetizarse en los dos siguientes aspectos:

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION

Este aspecto, tiene que ver más con un avance tecnológico que industrial relacionado con el moderno desarrollo de CMSA. Después de las dificultades presentadas a comienzos de 1988, especialmente las relacionadas con las fallas en el proceso pirometalúrgico y problemas de energía en la actualidad CMSA presenta una de las operaciones de más alta tecnología en el mundo. La materia prima de alta calidad (2,89% Ni) constituida por óxidos y silicatos de níquel con alto contenido de hierro (44,46%) es procesada a nivel de ferroníquel, con un contenido de 42% Ni, el cual se exporta en lingotes y granulados a USA, Europa Occidental y Japón.

Dentro del proceso industrial, el ferroníquel se considera como un produc-

to semielaborado, con sólo un modesto valor agregado sobre la materia prima. Se utiliza esencialmente en la fabricación de aceros inoxidable los cuales constituyen la base del verdadero desarrollo en países industrializados.

APLICACIONES INDUSTRIALES

El país cuenta con numerosas industrias que utilizan productos semielaborados y finales que en su mayoría son importados al país. Aceros inoxidables austeníticos (altos en níquel) se usan en la fabricación de utensilios domésticos, plantas procesadoras de petróleo, químicos, papel y alimentos. Así mismo aceros martensíticos y ferríticos se usan en revestimiento de láminas y tuberías y en las industrias de la construcción química y de alimentos. Productos finales de menor consumo en el país incluyen moldes de hierro, aleaciones de níquel-cobre, de níquel-cadmio y pigmentos.

Aceros especiales son producidos en Colombia por la Siderúrgica del Pacífico S.A. (SIDELPA), con destino a la industria nacional y algunos excedentes para exportación. En los aceros austeníticos producidos se destaca el SIDELPA 302 con un contenido de 8-10% de Ni, 17-19% Cr, pequeñas cantidades de C, Mn, P, S y Si. Se utiliza normalmente en piezas de equipos industriales y aparatos domésticos.

Dentro de los ferríticos se produce el SIDELPA 4340 con alrededor de 2% Ni, 0,8% Cr y menor proporción de C, Mn, P, S, Si y Mo. Se utiliza esencialmente en la industria automotriz, herramientas e industria petrolera. En términos generales, el consumo de ní-

quel por parte de la Industria Siderúrgica Nacional, es muy bajo.

Siendo el ferroníquel la materia prima básica para la industria de acero inoxidable, vale la pena analizar la viabilidad técnica económica de utilizar parte del ferroníquel producido en el país para el montaje de una planta de acero inoxidable (o fortalecimiento de la actual capacidad instalada), que pueda abastecer las necesidades del país, generar excedentes para la exportación y de paso incrementar el valor agregado sobre la materia prima.

Características del Mercado

DEMANDA-IMPORTACIONES

La demanda de níquel para la industria nacional tiene como base los aceros inoxidables, aleaciones y níquel refinado, los cuales son importados en su casi totalidad. Chapas, láminas, rodillos y tubería de acero inoxidable y otras aleaciones, con contenido variable de níquel constituyen necesariamente un porcentaje de las importaciones, registradas como productos de hierro, acero y derivados los cuales en 1990 y 1991 alcanzaron una cifra alrededor de US\$750,0 millones /año.

No existen estadísticas que permitan desagregar el níquel de esta cifra, pero a manera de ensayo y asumiendo que un 50% de los productos contengan níquel en un promedio del 7%, el valor del metal importado al país sería del orden de US\$26,3 millones (un 3,6% del valor total de las importaciones de hierro, acero y derivados).

OFERTA - EXPORTACIONES

La oferta del país, incluye la totalidad de la producción de ferroníquel que es exportada a los mercados internacionales. La producción a nivel nacional se presenta en la tabla 3.

Los principales países importadores del ferroníquel colombiano son: USA, Francia, Alemania Occidental, Italia, Bélgica y Japón. Una pequeña proporción de los aceros inoxidables producidos por SIDELPA, se exporta a países de la Cuenca del Caribe.

PRECIOS

La figura 5, presenta la variación del precio del níquel a partir de la iniciación de la producción en CMSA. Los precios son los establecidos en el mercado internacional, sin que a nivel nacional se presenten, limitaciones, subsidios u otros parámetros que puedan distorsionarlos.

Proyecciones

CMSA, presentó en 1990 al Gobierno Nacional una propuesta de ampliación de su operación (Ministerio de Minas y Energía, 1992). La propuesta incluye la instalación de un horno adicional de fundición de ferroníquel, de 30 MW, el cual permitirá aumentar la actual capacidad instalada de 50 a 70 millones de libras de ferroníquel por año y la producción de un promedio actual de 45 millones a 58,1 millones de cifras anuales. La inversión total de capital se estima en US\$125 millones equivalentes a US\$ 5,00/lb de capacidad anual adicional de producción de níquel, que se compara favorablemente con costos de expansión en otras plantas en ope-

Tabla 3
EXPORTACIONES DE NI EN COLOMBIA

PRODUCCION: MILLONES DE LIBRAS DE NIQUEL						
1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991 (e)
24,8	41,9	41,6	37,2	37,3	40,6	45,0 (e)

VALOR DE LAS EXPORTACIONES US\$ MILLONES						
1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991 (e)
55,0	48,0	76,5	180,0	237,0	137,3	152,0 (e)

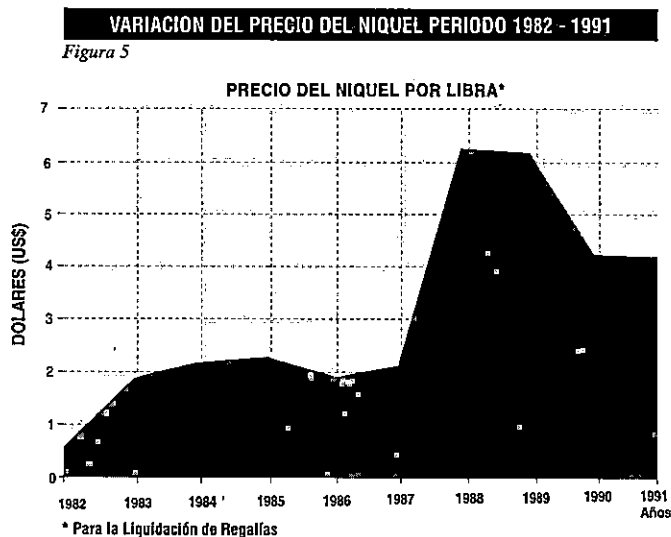
Fuente: Revista Banco de la República /MINERALCO S.A. e=estimado.

ración (US\$5-7/lb Ni) y con los nuevos proyectos (US\$15/lb Ni). La rentabilidad en términos de TIR hasta el año 2007 (reversión) es del orden de 30% y a partir de ese año podrá seguir funcionando por más de 11 años produciendo 57,2 millones de libras de ferroníquel. A las reservas hoy marginales de CMSA, se podrán integrar las de Planeta Rica y Uré con lo cual los 11 años podrían incrementarse a más de 25 años adicionales de producción.

Con la estabilización de la producción de CMSA por cerca de 50 años el

país debe pensar en un mayor grado de transformación de la materia prima, siquiera hasta la producción de aceros inoxidables para el desarrollo de la industria nacional. A nivel suramericano solamente Brasil produce pequeñas cantidades de níquel refinado, lo cual le permitiría a Colombia competir no sólo a nivel del Pacto Andino, sino en los demás países suramericanos.

Dentro de las proyecciones de explotación el país presenta un buen potencial para el hallazgo de nuevos de-



Fuente: CERRO MATOSO S.A., 1992.

pósitos de níquel o metales asociados como cromo, cobalto y titanio. Necesariamente estas perspectivas del níquel, analizadas dentro del conjunto de los otros Minerales Estratégicos para el país, debe traducirse en proyectos que se integren dentro de un Plan Nacional de Desarrollo Minero.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

El níquel ocupa una alta prioridad, dentro de los Metales Estratégicos para el desarrollo del Sector Minero y de la industria nacional. En la actual coyuntura de apertura económica e internacionalización de la economía es necesario determinar las ventajas comparativas con que cuenta el país para un desarrollo competitivo.

Nivel Minero

EXPLORACION

La exploración constituye uno de los elementos críticos para asegurar la supervivencia y crecimiento del sector minero nacional. Es lógico que de los beneficios económicos derivados de la minería, un porcentaje se reinvierta en exploración para lograr identificar nuevas reservas que garanticen el normal abastecimiento a la industria nacional, y de ser posible, generar excedentes para la exportación.

En el caso del níquel se considera prioritario adelantar trabajos de exploración en dos niveles:

■ A nivel regional, la prospección sistemática de la porción Sur del terreno geológico relacionado con el sistema de fallas de Romeral. Los cuerpos ultrabásicos dentro de este terreno pueden estar relacionados con nuevos depósitos de níquel, cromo, cobalto y titanio. Las arenas negras del drenaje del Pacífico (río y playa) muestran contenidos anómalos de éstos metales, derivados necesariamente de cuerpos ultrabásicos, además de que por sí mismos pueden constituir depósitos de rendimiento económico.

■ A nivel local, resulta prioritario continuar con la evaluación de las reservas marginales de Cerro Matoso, Planeta Rica y Uré que dentro del concepto de explotación conjunta aprovechando la infraestructura de CMSA, presentan un alto porcentaje de viabilidad económica.

Simultáneamente se debe reevaluar el potencial de la "canga", dando mayor énfasis a la presencia de subproductos como cromo, cobalto y níquel que pueden conjuntamente con el hierro representar nuevas posibilidades económicas en el sector de las aleaciones. En la ampliación de las reservas ya se encuentra trabajando CMSA.

DESARROLLO Y PRODUCCION

A nivel de desarrollo y producción, sólo se prevé a mediano plazo la ampliación de la operación de CMSA. Para nuevos desarrollos habrá que esperar los resultados de la exploración regional.

Nivel Industrial

Al ampliar la producción de ferroníquel en CMSA, se debe pensar en que el país se comprometa en un mayor desarrollo industrial con base en la producción de aceros inoxidable. Siendo el ferroníquel la materia básica para dicha industria, constituye una alta prioridad evaluar la viabilidad técnico-económica para el montaje de una planta en el país. A nivel de orden de magnitud una planta para la producción de unas 100.000 toneladas anuales, podría consumir entre 6000-8000 toneladas año, de níquel, un 35 - 40% de la actual producción. Dentro de este proyecto sería importante la identificación de reservas de cromo, elemento básico de los aceros inoxidables.

VENTAJAS COMPARATIVAS DEL PAIS

Indudablemente desde el punto de vista de disponibilidad de materia prima y contando con la infraestructura básica de CMSA, susceptible de ampliación a costos competitivos, el país presenta ventajas comparativas a nivel latinoamericano y posiblemente a nivel mundial, para la fabricación de productos semielaborados de níquel. A nivel del Pacto Andino podría captar los mercados, hoy en manos de otros países.

Tomando en cuenta los aspectos políticos, legales, régimen de inversión extranjera y régimen fiscal, vigentes en Colombia, se puede concluir sin mayor riesgo de equivocación que las condiciones en materias relacionadas con el sector minero industrial han

mejorado sustancialmente al punto de que nuestra actual situación es comparable a la de Chile, país que se encuentra altamente valorado en las expectativas y realidades de la inversión privada, tanto nacional como extranjera (MINERALCO,S.A. 1991).

La gran desventaja de Colombia en estos momentos, la constituye el alto grado de inseguridad, aspecto sobre el cual el Gobierno viene adelantando esfuerzos en busca de soluciones que permitan disminuir el alto riesgo, a que se encuentran sometidas algunas empresas, entre ellas las del sector minero.

RECOMENDACIONES

Las perspectivas de desarrollo analizadas deben concretarse en el di-

seño de proyectos justificados y con una estimación de costos, que permite la toma de decisiones por parte de un Comité de Política Minera donde se integren los sectores oficial y privado.

En el caso específico del níquel, se considera prioritario el diseño de los siguientes proyectos:

- Exploración Regional para níquel y metales asociados en la parte Sur del sistema de fallas de Romeral y acumulaciones mecánicas relacionadas:
- Revaluación de las reservas marginales de Cerro Matoso, Planeta Rica y Uré (actualmente en ejecución por parte de CMSA).
- Revisión y actualización de los estudios realizados sobre la escoria de CMSA, como materia prima para la producción, de fertilizantes magne-

sianos, o su mezcla con roca fosfórica para la producción de termofosfatos.

- Viabilidad Técnico-Económica para el montaje de una planta de acero inoxidable en Colombia, mediante la utilización del ferroníquel producido por CMSA.
- Revaluación del potencial de la "Canga" de CMSA, con énfasis en la posible utilización del hierro y metales asociados en aleaciones de alta capacidad de esfuerzo.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Contenido Promedio de Ni en Depósitos Lateríticos.
- TABLA 2. Reservas del Níquel a Nivel Mundial.
- TABLA 3. Exportaciones de Ni en Colombia.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Consumo de Níquel en el Mundo Occidental.
- FIGURA 2. Producción del Níquel en el Mundo Occidental 1970-1991.
- FIGURA 3. Importaciones y Exportaciones del Níquel 1980 - 1991, en Países de Economía Centralizada.
- FIGURA 4. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Níquel.
- FIGURA 5. Variación del Precio del Níquel Período 1982 - 1991.

BIBLIOGRAFIA

- CASTRO, H., 1987. Minerales de Níquel. Recursos Minerales de Colombia. Publ. Esp. del INGEOMINAS, 1. Tomo I, : 327 - 365, Bogotá.
- CERRO MATOSO, S.A., 1976. Estudio de Factibilidad. Bechtel, Trabajo No 6352.
- CERRO MATOSO, S.A., 1992. Documentos Varios.
- DEL CORRAL, G., 1991. Informe Anual a la Asamblea de Accionistas. Informe Inédito, 58 p, Cerro Matoso.
- DANE, 1992. Banco de Datos. Santafé de Bogotá.
- HAYES, E.J., 1991. Nickel. Mining Journal: Annual Review pp 73 - 74. London.
- JHONSON, C.H., 1990, Ranking Countries for Minerals Exploration.
- KIRK, W.S., 1990, Nickel Bureau of Mines, Annual Report. 17p.
- KPMG - Peat Marwick, 1991. Los 200 Principales Productos, Importados por Colombia en 1990. pp. 39-57.
- MANSHRECK, M., 1991. Nickel, Supply Down, Consumption Up. 122nd Annual Survey and Outlook. Engineering Mining Journal. pp. 35 - 38 Chicago.
- MINERALCO, S.A, 1991. Estadísticas del Sector Minero.
- MINERALCO, S.A, 1992. Estadísticas del Sector Minero.
- MINERALCO, S.A, 1991. Estrategias para el Desarrollo Minero del País. Informe inédito, 59p. 3 Anexos.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 1992. Estudio Propuesta de Cerro Matoso. S.A. 16 p.
- MUÑOZ, R., 1992. Níquel. INGEOMINAS, 1992. Informe Interno. Medellín.
- NACIONES UNIDAS, 1977. Evaluación de Lateritas Niquelíferas en los departamentos de Córdoba y Antioquia, 323 pp. New York.
- NALDRETT, A.J., 1981. Nickel Sulfide Deposit. Classification Composition and Genesis. Econ cred., 75 th Ann pp 628 - 685.
- RIDGWAY, A.J., 1991. Colombia. Mining Journal Annual Review. pp. 54 - 56 London.
- ROBERTSON, R.R., 1985. Colombia's Cerro Matoso. Eng. and Mining Jour. pp. 18 - 22 Chicago.
- ROSKILL INFORMATION SERVICES, 1991, The Economics of Nickel Sixth Edition. London.
- TELEWIAK R.G., 1990. Towards Enhanced Transparency of the World Nickel Economy. Metals Week Ferroalloys Conference. Tucson, Arizona. 14 p.

Minerales

Estratégicos

para el desarrollo

de Colombia

MEDC

G

RUPO 5

MINERALES
INDUSTRIALES

SAL

ASBESTO

ROCA FOSFORICA

YESO

POTASA

AZUFRE

Introducción

El mundo civilizado tal como se conoce, depende en alto grado de sus minerales, ya sean metálicos, combustibles o industriales, pues son materiales básicos en todos los estados de desarrollo. Los países productores ven sus recursos minerales como un medio generador de divisas y proveedor de fuentes de empleo.

El término *Minerales Industriales* se usa con diferentes connotaciones. Para algunos autores son minerales no metálicos de gran importancia, dado que su necesidad o demanda está directamente relacionada con el grado de industrialización de un país. En principio todo mineral de mena es un mineral industrial, pues de por sí posee valor comercial.

Para la mayoría de los técnicos del sector minero, así como para los autores de estas monografías la denominación "*Minerales Industriales*" se aplica a rocas y minerales no metálicos utilizados en

productos y procesos industriales. Estos minerales se les considera de menor trascendencia cuando se comparan con los minerales metálicos. El concepto se agudiza aún más en los países en vía de desarrollo, donde se les coloca en un segundo plano ya sea por su interés científico, o como categoría minera, en estrategias y en prioridades de inversión.

Los *Minerales Industriales* diferentes a los combustibles fósiles, se pueden clasificar en tres agrupaciones según su principal uso final:

- *Industria de la Construcción.*
- *Industrias Química y de Fertilizantes.*
- *Otros Procesos Industriales.*

Industria de la Construcción.

Dado el valor de su producción y la importancia que representa esta actividad para el desarrollo del país, el Proyecto *Minerales Estratégicos para el Desarrollo de Colombia-*

MEDC, considera conveniente que la Caliza, Arcilla, Agregados Pétreos y Piedras Ornamentales. Sean tratados independiente en otro documento identificado como Grupo 7.

Los *Materiales de la Construcción* valoran las propiedades físicas de los materiales naturales o artificiales utilizados en obras civiles para beneficio del hombre, tales como presas, puentes, carreteras, edificios, vivienda y centros de recreación.

Industrias Química y de Fertilizantes.

El grupo de los minerales de interés químico y de beneficio para la elaboración de fertilizantes es apreciado por su amplia gama de propiedades relacionadas con la composición y las propiedades químicas de los cuerpos simples. En el primer caso se incluye la sal, nitratos, boratos y calizas muy puras. En el segundo, la fosforita, la potasa y el azufre constituyen los tres componentes o elementos más importantes para la elaboración de abonos útiles en la industria agrícola. También a este grupo pertenecen el yeso y el asbesto; el primero como aditivo retardador de fraguado en el cemento y utilizado en la fabricación de estucos y láminas prefabricadas; el segundo como aditivo en la ma-

nufactura de productos de asbesto-cemento (tubos, tejas, tanques). Estos minerales se usan además, para mejorar las condiciones de calor y sonido en las edificaciones y como material resistente al fuego en el caso de los paneles de asbestos, yeso y vermiculita.

Otros Procesos Industriales.

Los minerales cuyo uso interviene en otros procesos industriales, son valorados por sus propiedades físicas y químicas. En este grupo es común la sustitución de un mineral por otro, particularmente cuando la demanda de uso final, está relacionada más a parámetros físicos que químicos. Así por ejemplo el caolín, talco y el carbonato de calcio, compiten fuertemente en sus aplicaciones como material de cubrimiento y de relleno en las industrias del papel, plásticos y pinturas.

Es tal la diversidad en las características físicas y químicas de los minerales industriales en forma procesada, que con frecuencia poseen multiplicidad de usos finales, por lo que un mineral o material puede aparecer en uno o más de los siguientes grupos:

- **Construcción:** arena, grava, caliza y materiales cementantes.
- **Químicos:** azufre y sal.
- **Fertilizantes:** roca fosfórica, potasa y nitratos.
- **Cerámicos:** arcilla, caolín y feldespato.
- **Abrasivos:** arenisca y diamante industrial.
- **Aislantes:** asbesto, mica y vermiculita.
- **Pigmentantes y de relleno:** arcilla, diatomita, carbonato de calcio y barita.
- **Refractarios y fundentes:** arcilla y magnésita.
- **Gemas y piedras preciosas:** amatista y diamante.

Este agrupamiento, según los usos industriales, puede en cierta medida facilitar la evaluación del potencial de recurso mineral de una región. A este respecto es oportuno mencionar que la confusión en el uso de los términos **Reservas y Recursos** ha sido causa o de un exagerado optimismo o de un injustificado pesimismo.

Cualesquiera que sea el método utilizado para el estimativo, **el conocimiento geológico** es esencial, pues no se está en capacidad de predecir lo que no se conoce.

Otro aspecto a tener en cuenta es el procesamiento que requieren los **Minerales Industriales** que se obtienen de las operaciones mineras. Muchos minerales deben ser procesados para atender las especificaciones, aplicaciones y diferentes formas en que van a ser usados por la industria. El procesamiento mineral es importante dado que también cumple una función de servicio con generación de actividades que conllevan varios niveles de valor agregado, dependiendo del proceso y de los precios en el mercado.

Disponer de recursos minerales implica grandes inversiones en recursos humanos, exploración, desarrollo minero-ambiental y actualización tecnológica permanente. Hoy en día, productores, procesadores y consumidores de **Minerales Industriales** operan conjuntamente a nivel mundial. Valdría la pena preguntarnos si realmente hay conciencia de las implicaciones y el significado que ello tiene para el país y en qué grado se puede estar afectando nuestra economía si lo ignoramos.

Cuántos y cuáles Materiales industriales que actualmente se importan, se podrían obtener dentro del país, sin embargo no se producen más por falta de conocimiento y planificación, que por carencia del recurso mineral.

Para resaltar la importancia de los Minerales Industriales, analicemos el caso de Estados Unidos, donde el valor de su consumo anual es dos veces el valor de los minerales metálicos y donde el 80% del monto total de la producción interna de minerales no combustibles, es aportado por los Minerales Industriales.

Las necesidades cambiantes de una sociedad industrial, demandarán materias primas a partir de nuevos minerales o productos con especificaciones cada vez más exigentes. La transición de los materiales comunes de gran necesidad en la actual economía, inevitablemente se dará hacia los Minerales Industriales Especializados, de alta tecnología, poco volumen y alto valor agregado.

La complejidad geológica del país le permite disponer de grandes regiones

con buenas posibilidades para prospectar depósitos de Minerales Industriales. Contamos con tres cordilleras (Oriental, Central y Occidental), los Macizos antiguos, las Serranías, la amplia región de los Llanos Orientales y la Amazonía son ambientes geológicos particulares y propicios para ubicar y desarrollar una amplia variedad de Minerales Industriales.

Las proyecciones a nivel mundial señalan que el consumo de Minerales Industriales per cápita continuará en aumento. No olvidemos que tanto los minerales no metálicos como los combustibles fósiles en su gran mayoría se consumen permanentemente y que no son reciclables como sí ocurre con los metales en general.

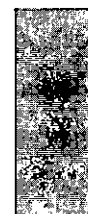
Conceptos tradicionales como el que los Minerales Industriales por ser de bajo costo, están restringidos a mercados pequeños y locales, es decir que deben producirse cerca a los centros de consumo, han perdido validez. El avance tecnológico en los métodos de transformación, permite entregar productos que son la materia prima básica para otras industrias que están en capacidad de

asumir el costo de transporte en el costo de producción.

Ante las nuevas demandas por materias primas minerales, surgen algunos riesgos, quizás el principal y más preocupante sea el que no estemos preparados en términos del conocimiento técnico sobre nuestros recursos minerales, o no se disponga del personal técnico y profesional que contribuya al cumplimiento de las metas de un desarrollo sostenible.

El país debería preocuparse un poco más por tener el inventario geológico en término de los depósitos de minerales no-metálicos y el potencial del recurso para su desarrollo, así sea sólo para consumo interno.

Cualquier consideración sobre Minerales Industriales será incompleta si no se tiene en cuenta el agua como el principal recurso mineral y a la vez elemento fundamental a nivel socio-económico. El recurso hídrico es absolutamente necesario en cualquier etapa de industrialización no importa el grado de conocimiento que de este recurso se posea.





Hernando Mendoza F. ⁽¹⁾

RESUMEN

Químicamente la sal pura es cloruro de sodio (NaCl) que en estado sólido se denomina halita. Menos del 5% de la producción de sal se destina directamente al consumo humano. Se presenta como sal de roca y en solución como salmueras con diferentes grados de saturación. Desde el punto de vista geológico la sal se clasifica en depósitos de evaporitas y depósitos de sal en soluciones.

Los tipos de depósito más importantes son:

- Depósitos de sal gema terrestre en capas o como domos.
- Depósitos de fuentes saladas o salmueras naturales.
- Depósitos de salinas marítimas.

Las reservas son abundantes tanto a nivel mundial como nacional y se encuentran ampliamente distribuidas.

Los principales depósitos de sal gema en Colombia se encuentran localizados en la Cordillera Oriental, en el borde de los Llanos Orientales y en el Litoral Atlántico.

La explotación de sal en Colombia ha sido monopolio del Estado y los depósitos se explotan utilizando las siguientes técnicas:

- Minería subterránea por los métodos de cámaras y pilares y de cámaras largas, utilizado en las Salinas de Zipaquirá.
- Minería por solución, inyectando agua a presión en depósitos de sal terrestre, aplicado en las Salinas de Zipaquirá, Nemocón y Upín.
- Minería por evaporación solar de agua de mar: característica de las Salinas de Manaure y Galerazamba.

(1) Geólogo MSc. Ingeominas Bucaramanga.

Estructura de la Industria

En la naturaleza no hay mineral que tenga más utilidad que la sal. Como producto químico se usa en metalurgia, química, cerámica, agricultura, medicina y consumo humano.

La industria de la sal a nivel mundial ha sido reestructurada y en la última década ha registrado una reducción significativa dados los altos costos de energía, sobredimensionamiento en la producción, costos laborales y competencia de mercados. Además, se ha reducido la demanda de cloro y soda cáustica debido a las restricciones ambientales.

La industria de la sal en Colombia también ha sido reestructurada. ALCALIS de Colombia fue vendida por el IFI a la Empresa REFISAL. CONSECIÓN SALINAS antes explotadora de las Salinas de sal terrestre, arrendó las salinas de Zipaquirá a la Empresa Salinas de la Sabana y las salinas de Upin a la Empresa Sales del Llano.

Características del Mercado

A nivel mundial la información y los datos estadísticos de la industria de la sal no son completos. En las dos últimas décadas la producción mundial se ha incrementado en más de 30%, mientras que el consumo por persona ha bajado de 89 a 80 libras.

La industria química es la mayor consumidora de sal en Estados Unidos y en el mundo. La producción mundial anual de sal es del orden de 200 millones de toneladas, los princi-

pales países productores son Estados Unidos, China y la Comunidad de Estados Independientes CEI.

En Colombia se registra una alta demanda de sal en los mercados de las sales procesadas y de los derivados de la sal. En 1991 la producción de sal en el país fue de aproximadamente 700.000 toneladas de sal terrestre y marina. En 1992 disminuyó a 547.000 toneladas, de las cuales 230.000 fueron de sal terrestre y 317.000 de sal marina.

La capacidad de producción, de sales de explotación y la capacidad instalada para sal refinada e industrial indican que la producción de sal en Colombia ha estado en niveles inferiores a lo que el país está en condiciones de producir.

Proyecciones

Las proyecciones para los años noventa son optimistas. La consolidación y reestructuración de la industria de la sal americana los coloca en una posición ventajosa en el Hemisferio Occidental. Tal reestructuración se ha dirigido hacia el fortalecimiento en la línea de productos terminados y alcanzan un mayor radio de acción en el mercado.

Perspectivas de Desarrollo en el País

Los problemas económicos y técnicos que afectaron la industria de la sal en Colombia fueron de tal magnitud que las plantas procesadoras, virtual-

mente se paralizaron durante los años 92 y 93. Como el suministro de sal es una función del Estado, fue necesario recurrir a la importación para abastecer el mercado. En el período marzo a septiembre de 1993 se importaban 7.000 t/mes de las cuales, 6.000 t provenían de Venezuela y 1.000 t de Perú.

Las sal importada no alcanzaba los contenidos mínimos de yodo y flúor, por lo cual el gobierno tuvo que suspender temporalmente el decreto 2024 que reglamenta la calidad de la sal, y en esta forma facilitó la introducción al país de sal con baja calidad.

Con una capacidad instalada para procesar sal refinada (de 25.000 t/mes en Mamonal y 10.000 t/mes en Betania), en 1993 sólo se trabajó al 60% de la capacidad, alcanzándose una producción de 180.000 toneladas en las dos plantas. La sal refinada que Venezuela vendía al país, provenía de Bonaire y Holanda y tenía un precio entre \$105.000 y \$110.000 /t en Cúcuta (que era el precio internacional en México y Perú). Por el contrario, la tonelada de sal refinada nacional tenía un precio de \$120.000 en Cartagena y de \$135.000 en Bogotá. Empresas como PRODESAL ampliaron su planta de procesamiento para producir una parte de soda ash y a la vez importar el resto dadas las ventajas por diferencia en el precio internacional (\$70.000/t) respecto al precio nacional (\$180.000/t). Igual situación se presentaba con el cloro, una parte se producía y otra se importaba. En la explotación de sal marina subsisten problemas que afectan su rentabilidad. En la planta de

Mamonal la producción no es estable, depende de Manaure y es afectada por los problemas de la comunidad indígena Wayuu, además registra altos costos de transporte y energía. La planta electrolítica a pesar del mal estado de conservación que la lleva a convertirse en chatarra, se seguirá utilizando hasta tanto las condiciones lo permitan.

ALCALIS de Colombia producía sal refinada para consumo humano con la siguiente calidad (Norma ICONTEC 1254):

NaCl: 99,35%

Humedad: 0,02%

Insolubles: 0,01%

Yodo: 70 ppm

Fluor: 200 ppm

Mg²⁺: ausente

Ca²⁺: ausente

Granulometría: 99,33% para malla 20.

Asumiendo un consumo de 2,5 kg/per capita/por año y dado el índice de crecimiento poblacional, la demanda de sal refinada para uso humano en Colombia, registra un déficit entre lo procesado y lo consumido. Se estima una demanda de sal refinada de 25.000 t/mes, frente a 15.000 t/mes producidas. El consumo de sal industrial es aparente, ya que una cantidad significativa de sal va incorporada en los productos alimenticios.

Gran parte de los antiguos Territorios Nacionales y de la Costa Atlántica son abastecidos con sal de contrabando. Además, en la transformación de la sal a sales procesadas y sus derivados, los mayores problemas se registran en la producción de derivados.

En la producción de soda cáustica las restricciones de tipo ambiental demandan un mayor control en el manejo de los grandes volúmenes de cloro que resulta como subproducto.

Dada la localización de la planta de Mamonal, resulta más barato importar la soda ash que producirla, y en el caso de la planta de Betania no se justifica invertir cerca de 2.500 millones de pesos que es el costo de una planta-filtro descontaminante.

El mercado de la sal en Colombia ha sido muy rígido dado el monopolio ejercido por el Estado.

La situación actual de apertura económica e internacionalización de la economía colocó a ésta y otras industrias en tal posición, que para entrar a competir y demostrar hasta que punto se justifica o no que el país siga importando derivados de la sal a un costo de miles de millones de pesos, tuvo que someterse a una completa reestructuración.

Las políticas trazadas han permitido finalmente encontrar fórmulas de concertación con los extrabajadores tanto de ALCALIS como de Concesión Salinas. Entre mayo de 1993 y julio de 1994 entraron en operación las siguientes empresas:

- REFISAL: que adquirió por compra los activos productivos que poseía ALCALIS. La empresa Sales del Llano S.A. que opera la Salina de Upín ganó la licitación pública ofrecida por el IFI-Concesión de Salinas. La empresa Sales de la Sabana S.A. ganó la licitación públi-

ca y tomó en arriendo la salina de Zipaquirá por un período inicial de siete años.

Respecto a las Salinas de Manaure, el gobierno y la comunidad Wayuu llegaron a un acuerdo para la creación de la nueva Sociedad Salinas de Manaure SAMA que explotará la sal mediante el sistema de concesión. Esta sociedad estará vinculada al Ministerio de Desarrollo.

Corresponde a estas nuevas empresas entrar a evaluar los aspectos relacionados con costos de producción productos y mejoramiento en la calidad de los mismos.

Igualmente es importante adelantar innovaciones o adaptaciones de tipo tecnológico (fracturamiento hidráulico, molienda, purificación y separación de impurezas entre otros).

Las expectativas frente a mercados como los de Estados Unidos, España, Puerto Rico, Guatemala, Uruguay, Argentina y Venezuela (antes se vendían 1.000 t/mes de sal a Venezuela) ameritan que el país promueva el desarrollo de la industria de la sal, o para que pueda competir, siempre y cuando el precio de la materia prima (salmuera) se coloque en los niveles de precio internacional.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico - Mineros

Químicamente, sal es un término genérico que describe compuestos formados por el reemplazamiento

parcial o completo del ion hidronium de un ácido por un metal o radical metálico. Sales y agua son los productos finales de la reacción química entre ácidos y bases. Por mucho tiempo se ha utilizado el término "sal" como sinónimo de cloruro de sodio (sal común) y como tal será considerado en esta monografía.

Las rocas sedimentarias y la asociación de minerales formados por evaporación-precipitación de aguas marinas o de salmueras concentradas, reciben el nombre de **Evaporitas**. Los depósitos de evaporitas son fuente de varios minerales, particularmente de sal, yeso, potasa y otras sales con altos contenidos de magnesio, bromo, boro y litio.

El agua de mar es la principal fuente de sales y los océanos constituyen el mayor recurso mundial de sal. En estado natural, la sal común o sal gema, es cloruro de sodio (NaCl) cristalizado, que en estado sólido se conoce como halita. Tiene un peso molecular de 58,454 el cual está constituida por 39,34% de sodio y 60,66% de cloro.

Se presenta en forma sólida, como sal de roca y en solución como salmueras. El 95 a 99% de la sal de roca corresponde a halita. A una temperatura de 0°C es soluble en una proporción de 35,7 por cada 100 partes de agua, mientras que a 100°C la solubilidad es de 39,8 por cada 100 partes de agua. Esta pequeña diferencia de solubilidad por cambio de temperatura, es importante en la producción económica de sal evaporada.

El punto de saturación del cloruro de sodio se alcanza a una temperatura de 25°C y una concentración del 26,7%. La separación de la sal común se inicia en el momento en que se forman láminas que inicialmente flotan sobre la superficie de las aguas concentradas y luego se hunden.

Cuando la sal es pura tiene 2,5 de dureza (escala de Mohs), y una gravedad específica de 2,165 g/cm³; como sal de roca tiene dureza de 2,1 y una gravedad específica de 2,6 g/cm³. Es translúcida o transparente cuando es pura, además presenta lustre vítreo y fractura concoide. La sal con trazas de óxido de hierro da tonos de amarillo, naranja, pardo rosado o rojizo. El color rojizo en la sal por evaporación solar de agua de mar, es atribuido a la presencia de diminutos organismos.

Las salmueras pueden presentar todos los grados de saturación y encontrarse en las aguas de los océanos, lagos salados, y salmueras subsuperficiales naturales y artificiales. En promedio, la concentración de sales en el agua de mar es de 3,5 % y en algunas lagos alcanza valores hasta del 30-35%.

En un sistema natural de salmueras, los factores geoquímicos que intervienen en la formación de depósitos evaporíticos son: La concentración de la salmuera, (que depende de la actividad del agua), la temperatura y la presión.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO.

Además del agua de mar, las aguas meteóricas y subterráneas salinas son

fuentes de pequeños depósitos de evaporitas en áreas terrestres y continentales.

Desde el punto de vista geográfico, las áreas apropiadas para acumulación de depósitos de evaporitas son:

- Costas intermareales y supramareales (Sabkhas marinos).
- Charcas costaneras y zonas de albuferas (Lagoons).
- Cuencas internas en áreas continentales.
- Cuencas oceánicas con masas de salmueras que están bajo el nivel del mar y no son afectadas por el influjo marino superficial.

Desde el punto de vista geológico los ambientes de formación de evaporitas son:

- Areas de plataforma y márgenes continentales.
- Márgenes continentales en áreas de desgarramiento o distensión de la corteza (Rifting).
- Areas de cratones con cuencas interiores de profundidad variable.

Bajo ciertas condiciones, un arrecife barrera, una barra de arena o cualquier otra barrera puede aislar un cuerpo de agua de mar de las corrientes circulantes del océano y bajo condiciones apropiadas de clima (cálido y seco), la evaporación avanza hasta que las sales son parcial o completamente depositadas. Con un continuo o periódico aporte de agua de mar que reemplace la cantidad evaporada, pueden formarse grandes depósitos de sal.

Según la forma como se encuentre, la sal se clasifica en depósitos de evaporitas y depósitos de sal en soluciones.

DEPOSITOS DE EVAPORITAS.

Los principales tipos de depósitos de sal gema se encuentran estratificados (**Sal en capas**), como flujos diapíricos (**domos de sal**), como **sales de playa** y **sal en soluciones**.

Los depósitos de **sal en capas**, se formaron por la acumulación de sales precipitadas sobre el piso de antiguos cuerpos de agua marina que se encontraban aislados. Para que se formaran depósitos masivos de sal roca, algunos con espesores hasta de 1.000 m. es de suponer que los factores climáticos favorecieron prolongados e intensos períodos de evaporación.

Los **domos de sal** se forman cuando se ejercen presiones verticales o laterales sobre los depósitos estratificados. Debido a la baja densidad de la sal, ésta fluye plásticamente a través de las rocas circundantes que son de mayor densidad. Usualmente un domo tiene apariencia cilíndrica con diámetro elipsoide o circular y frecuentemente se encuentra rodeado por una cubierta de roca de anhídrita, capas de yeso y calcita.

Importantes recursos minerales como petróleo, gas, azufre, se encuentran asociados a domos salinos.

Las **sales de playa** se forman en cuencas desérticas planas, libres de vegetación, que carecen de drenaje y que ocasionalmente son cubiertas por agua. Minerales y sales como car-

bonato de sodio, sulfato de sodio, cloruro de sodio, boratos, nitratos, fosfatos y potasa, resultan de la evaporación de aguas que han fluido hacia la playa, aguas cargadas con los iones que fueron lixiviados de las rocas que atravesaron y que circundaban la cuenca desértica. Searles Lake en California, es un ejemplo clásico de un lago de playa con sales (Kostick, 1991).

En la literatura geológica también se hace mención al ambiente **Sabkha** que es un término árabe dado a una planicie evaporítica desértica que bordea mares parcialmente encerrados (Coastal Sabkha) y cubre depresiones continentales (continental Sabkha) del Medio Oriente. Es importante distinguir entre Sabkha costaneros, en donde las aguas subterráneas provienen principalmente del mar y los Sabkha continentales en los que las aguas subterráneas son esencialmente terrestres (Shearman, 1978).

Sal en Soluciones. Los principales medios acuosos en los que la sal está disuelta son los océanos, lagos y las aguas subterráneas. El agua tiende a acumularse sobre la superficie en depresiones topográficas originadas por levantamientos tectónicos o subsidencia en la parte superior de la corteza terrestre. Las soluciones mineralizadas provenientes de las zonas montañosas, drenan hacia las cuencas, permitiendo con el tiempo, que la evaporación solar concentre las sales para formar lagos salinos. El mar de Aral en la antigua Unión Soviética, el Mar Muerto entre Jordania e Israel y el Gran Lago Salado en Utah, son ejemplos de este proceso.

Las aguas subterráneas están constituidas por aguas connatas mineralizadas y aguas meteóricas que se encuentran en formaciones permeables. En algunas regiones, salmueras ricas en cloruro de sodio, migran hacia la superficie a través de diaclasas y fracturas en los estratos rocosos, formando **fuentes saladas**.

Situación de las Reservas Mundiales

Las reservas mundiales de sal son abundantes y se encuentran ampliamente distribuidas, de tal forma que casi todo país cuenta con algún depósito, o realiza operaciones de evaporación solar a diferente escala. Los océanos son fuente inagotable de sal.

Los recursos de sal en Estados Unidos se encuentran en cuatro grandes cuencas de depositación, que en conjunto cubren una extensión de 500.000 millas cuadradas en 18 Estados. Sus recursos identificados se estiman en 61×10^{12} toneladas, los que están siendo agotados a una tasa aproximada de 39 Mt/año. Al nivel actual de producción, Estados Unidos dispone de recursos de sal suficientes, para más de 1,6 millones de años. Si a ello se agrega la evaporación solar del agua de las costas marinas, se tendría sal indefinidamente (Kostick, 1991).

Las reservas de sal en Canadá son de tal magnitud que, en la Región de Praire existe una enorme cuenca evaporítica que se extiende desde Alberta, pasa por Saskatchewan y continúa hasta el SW de Manitoba; con-

tiene niveles de sal con espesores hasta de 122 m los cuales se encuentran a profundidades entre 120 y 200 m.

Los depósitos económicos y subeconómicos de sal, especialmente los confinados al subsuelo, se constituyen en recurso natural básico en países con gran producción. En la provincia de Jiangsu (China) se descubrió un gran depósito de sal con reservas de 200-400 Mt y un dos con 44 y 3 Mt. En la provincia de Shandong (China) cerca a la bahía de Laizhon, se encontró un depósito subterráneo de sal salmuera, con cerca de 400.000 toneladas (Kostic, 1987).

La sal por ser un recurso tan abundante y de bajo costo, reduce la posibilidad de encontrar materiales que económicamente puedan sustituirla. En depósitos como los de potasa en Nuevo México (USA), la sal es recuperada como subproducto, mientras que en la elaboración de Soda Ash se obtiene como coproducto. Dada la magnitud de los recursos y reservas de sal, no se considera necesario discutir nuevas fuentes de reservas.

TIPOS DE MINERÍA.

Las áreas más favorables para nuevos desarrollos mineros, además de estar localizadas cerca a los centros de consumo, deben contar con buena infraestructura vial. Los depósitos de sal son explotados utilizando las siguientes técnicas:

a) Minería subterránea, apropiada para depósitos de sal roca (estratificados y domos), utilizando el método de cámaras y pilares con algunas modificaciones y según las

características del depósito. En el frente de avance, se delimita el cuerpo de sal a extraer, se perfora y se arranca con explosivos. Los bloques de sal son cargados mecánicamente en camiones o vagonetas y transportados hacia una planta trituradora o hacia el pozo (Shaft) desde donde es conducida a superficie para su procesamiento, que normalmente consiste en remover las impurezas y tamizar el material a fracciones de tamaño más fino.

b) Minería por solución, se utiliza en depósitos de sal terrestre (capas y domos) y consiste en perforar un pozo de inyección, por el cual se introduce agua dulce a presión, para producir el fracturamiento hidráulico de la capa de sal y formar una salmuera artificial la cual es bombeada hacia superficie tan pronto se establece la comunicación con el pozo de producción.

Cerca del 65% de la sal producida en Estados Unidos, se obtiene por disolución, método particularmente ventajoso, cuando la sal va a ser usada como salmuera en el tratamiento químico para producir soda ash y soda cáustica.

c) Por evaporación solar de agua de mar, lagos u otras salmueras naturales (producción de sal marítima), utilizando piscinas o charcas de evaporación separadas entre sí por diques o jarillones, con el propósito de facilitar las diferentes etapas en el ciclo de evaporación-cristalización de la salmuera.

La evaporación solar, es un método efectivo de producir sal en áreas de alta evaporación y baja precipitación. Por ser el método más simple y barato, es el que más se utiliza a nivel mundial, excepto en países donde el clima y otros factores no son los más apropiados.

Estructura de la Industria

Por ser Estados Unidos el mayor productor de sal en el mundo, (representa 20% de la producción total mundial), ser un gran exportador de sales procesadas y utilizar cerca del 50% de su producción interna para la industria de cloralcalis (para elaborar cloro y soda cáustica como coproducto) se toma como modelo para el análisis de esta industria.

La industria de la sal en Estados Unidos ha continuado su reestructuración, con cambios de dueños, adquisiciones y cambios de nombres. Por ejemplo, Great Salt Lake Minerals (GSL) fue comprada en marzo de 1989 por D. George Harris Asociados en US\$34,5 millones (Kostick, 1991). Según una encuesta del Bureau of Mines en 1989, se reportaron 31 compañías que operaban 69 plantas en 13 Estados. Ocho de las compañías y 11 de las plantas producen más de 1 Mt cada una, contribuyendo con el 85% y 58% respectivamente, del total producido en el país. Comparando, con la estructura de la industria en 1970, cuando existían 50 compañías que operaban 95 plantas, encontramos una reducción significativa, atribuida principalmente a los costos de energía, costos laborales, exceso

en la capacidad de producción, competencia en los mercados e importaciones más costosas.

Entre 1970 y 1989 la producción mundial de sal aumentó a una tasa de aproximadamente 1,3% por año, mientras que en Estados Unidos la producción decreció 1% por año. Ante esta situación la industria americana de la sal debió someterse a continua reestructuración a fin de buscar su consolidación y proyectarse como una de las industrias norteamericanas más integrada y competente del Hemisferio Occidental.

A partir de 1988 se ha reducido la demanda de cloro y soda cáustica, debido a normas ambientales que regulan las emisiones de compuestos a base de cloro, tales como los usados en los clorofluorocarbonados (CFC) y en el blanqueamiento del papel. Las industrias de la pulpa y el papel, que consumen cerca del 14% y 24% respectivamente de la producción interna de cloro y soda cáustica, han sido investigadas por arrojar desechos contaminantes al ambiente.

En 1986, las industrias del cloro y soda cáustica, que fueron el mayor mercado como producto terminado de la sal, utilizaron cerca de 19,7 Mt de sal (Kostick, 1987). Por cálculos estequiométricos, de cada 1,75 toneladas de sal procesada, se produce 1 tonelada de cloro y 1,1 tonelada de soda cáustica (coproducto).

En la naturaleza no es fácil encontrar un mineral que tenga más usos que la sal. Su valor como alimento y como medio para preservarlos, es am-

pliamente superado por la demanda industrial, por lo que se constituye en materia esencial de la industria química. Como **materia en bruto**, la sal se usa para la elaboración de productos químicos y ácidos: carbonato de sodio (Soda Ash), hidróxido de sodio (Soda cáustica), cloro, bicarbonato de sodio, ácido clorhídrico, sulfuro de sodio e hipoclorito de sodio.

Como **producto químico** se usa en: metalurgia (tratamiento, fundición y refinación de metales); química (fabricación de conservas, emulsiones, tintes, jabones, madera, cemento, industria de alimentos, retardador de llama en explosivos, blanqueador de algodón y papel, tratamiento de aguas, lacas, anticongelante); cerámica (material vitrificante, industria del vidrio); agente refrigerante (para refinado de aceites, neveras, refrigeradores); medicina (elaboración de drogas) y agricultura (fertilizante, acondicionador de suelos, insecticidas). En total, se mencionan más de 10.000 diferentes usos de la sal.

La sal para consumo humano es empaquetada en diferentes tamaños según el uso final. La sal de mesa contiene 0,01% de yoduro de potasio, aditivo que aporta el yodo, esencial para los procesos de oxidación en el cuerpo humano. La sal como alimento para animales y para tratamiento de aguas se produce en bloques compactos, de 50 libras de peso.

Azufre, yodo, elementos traza y vitaminas, son agregados a los bloques de sal con el fin de suministrar los nutrientes que no se encuentran naturalmente en los alimentos.

Características del mercado

La falta de información y de datos estadísticos sobre la industria de la sal a nivel regional y mundial, dificulta cualquier análisis económico sobre mercados. Con base en las fuentes de consulta, Minerals Yearbook y Mineral Facts and Problems, en éste trabajo sólo nos referiremos a los mercados de la sal en Norteamérica.

En 1989 Estados Unidos importó casi cuatro veces la cantidad que exportó, lo que demuestra que la importación es fundamental para atender sus requerimientos. La mayor parte de la sal importada se realizó a través de empresas extranjeras, subsidiarias de los principales productores americanos de sal.

Generalmente, la sal importada puede comprarse y venderse a costos más bajos, comparados con los costos internos del producto, debido a que los costos de producción son menores en otros países y a tasas de cambio de moneda más favorables.

Las estadísticas muestran, que desde 1970 la producción mundial de sal se ha incrementado en más de 30%, mientras que la población mundial lo hizo en un 44%, lo que significa, que el consumo anual ha disminuido de 89 a 80 libras per-capita.

DEMANDA

Con base en una encuesta a los productores americanos de sal, durante 1989 Estados Unidos consumió más de 43,8 Mt de sal producida, e importada. Los siguientes porcentajes dan idea de la distribución de sal según

uso final: químicos 46%; control de nieve 26%, distribuidores 10%, comida y agricultura 6%, industrial 5% y otros usos combinados 7%.

La industria química es la mayor consumidora de sal en Estados Unidos, particularmente la sal de salmuera. La industria del cloro y soda cáustica consumieron cerca de 19,5 Mt de sal. Se estima que en 1989 la industria del cloro con base en sal, operó sólo al 88% de su capacidad.

Respecto a las existencias (stocks) reportadas en 1989, estas fueron de 2,4 Mt de sal roca y sal solar o marina. Varios estados, condados, distribuidores y contratistas de vías, almacenaron cantidades adicionales de sal, en previsión de condiciones climáticas adversas, como las que se presentaron a comienzos de 1994, consideradas las más fuertes en los últimos 50 años.

PRODUCCION

Estados Unidos, el mayor productor mundial de sal, contribuye sólo con el 18% de la producción total, que en 1989 se incrementó en un 4%. Se destaca el alza de (27%) registrada en China, donde la gran demanda de sal obedeció al notorio impulso de su industria química. La tabla 1 muestra las estadísticas de la sal americana en el período 1985 - 1989; y la tabla 2 la producción mundial por países en el mismo período.

La mayoría de países disponen de alguna capacidad para producir sal en cantidades que alcanzan a suplir la demanda interna. Teniendo en cuenta, que cada tipo de sal producida en

Tabla 1
PRINCIPALES ESTADÍSTICAS DE LA SAL EN USA, PERIODO 1985-1989
(miles de toneladas cortas)

	1985	1986	1987	1988	1989
USA					
Producción	39.217	37.282	36.943	39.170	39.278
Vendida o Utilizada por los productores	40.067	36.663	36.493	38.940	38.856
Exportaciones	904	1.165	541	88	41.567
Importaciones para consumo	6.207	6.665	5.716	5.474	6.084
Consumo aparente*	45.370	42.163	41.668	43.530	43.373
Producción Mundial	190.629	192.755	196.852	202.785	209.988¹

1= Preliminar 2= Estimada

*=Vendida o usada, más importaciones, menos exportaciones.

Fuente: Minerals Yearbook, 1989

Tabla 2
PRODUCCION MUNDIAL DE SAL POR PAISES 1985-1989
(miles de toneladas cortas)

PAIS	1985	1986	1987	1988p	1989e
Australia*	6.432	6.758	7.150	7.690	8.100
Canadá	11.117	11.389	11.165	11.780	12.279
China	15.924	19.070	19.800	24.250	30.850
Francia (1)	407	425	1.627	1.650	1.650
(3)	4.593	4.368	4.040	4.050	4.080
Alemania Democrat.(1)	3.395	3.390	3.390	3.300	3.300
Alemania Federal (1)	10.642	13.777	14.178	14.330	13.780
(2)	3.777	666	666	667	660
México	7.129	6.840	7.047	7.924	8.435
Estados Unidos *	39.067	36.663	36.493	38.328	38.856
Reino Unido (1)	2.238	2.249	2.045	967	1.100
(2)	5.639	5.307	5.761	5.791	5.290
Union Soviética	17.747	16.865	16.976	16.314	16.300
Colombia (1)	260	250	226	230	235
(2)	545	552	496	521	530
Venezuela	374	565	550	550	550
Perú	226	440	490	390	390
Chile	831	1.138	954	1.149	1.100
Brasil (1)	1.053	661	1.047	1.473	1.420
(2)	1.911	1.764	3.968	3.329	3.420
TOTAL MUNDIAL	190.629	192.755	196.852	202.785	209.988

e= Estimado p= Preliminar

* Incluye sal marina y otros tipos de sal, (1) sal terrestre, (2) sal marina, (3) sal en solución.

Fuentes: Minerals Yearbook, 1987, 1989; Mineral Commodity Summaries 1990, U.S. Bureau of Mines/U.S. Geological Survey.

el mundo, posee características únicas en cuanto a minería, procesamiento y mercados, es muy difícil dar estimativos sobre la capacidad máxima de producción de sal para cada región.

PRECIOS.

Los valores promedio que registra el Bureau of Mines, representan el valor neto de venta F.O.B. planta, sin incluir costos del contenedor. Los cuatro tipos de sal que se producen, cada uno tiene factores propios de producción, procesamiento y empaque, que son los que determinan el precio de venta.

En general, la sal vendida a granel es menos costosa que la empacada o peletizada; la de salmuera es la más barata y la sal más costosa es la producida al vacío. En la tabla 3 se muestran los valores históricos de los diferentes tipos de sal en el período 1980-1989. Los valores son comparados con dólares constantes 1989, a fin de mostrar los efectos inflacionarios y condiciones económicas generales sobre dichos valores.

Proyecciones

Durante los años noventa continuarán las restricciones ambientales y habrá más control sobre el aire y calidad del agua. El futuro de la industria del cloro estará seriamente afectado, debido al deterioro de la capa de ozono, ya que, en la atmósfera superior se desintegran las moléculas de los CFC, además, la contaminación de aguas superficiales con el dioxin de los químicos utilizados para el blanqueo del papel. También

Tabla 3
RELACION TIEMPO - VALOR PARA LOS TIPOS DE SAL, 1980 - 1989
(Valor anual promedio y dólares constantes 1989, US\$ tonelada)

AÑO	SAL EN SALMUERA		SAL ROÇA		SAL SOLAR		SAL POR VACIO	
	VALOR ANUAL	CON BASE EN US\$CONST. 1989	VALOR ANUAL	CON BASE EN US\$CON 1989	VALOR ANUAL	CON BASE EN US\$CONST. 1989	VALOR ANUAL	CON BASE EN US\$CONST. 1989
1980	6,50	9,58	14,65	21,59	15,65	23,06	76,44	112,65
1981	5,91	7,94	13,76	18,49	18,35	24,66	79,68	107,06
1982	6,21	7,84	13,89	17,54	17,89	22,60	86,72	109,53
1983	5,22	6,35	13,43	16,33	21,47	26,10	87,39	106,23
1984	5,05	5,92	13,73	16,16	19,67	23,07	92,78	108,80
1985	6,14	6,99	15,15	17,25	23,10	26,31	92,66	105,53
1986	5,15	5,72	14,51	16,10	23,76	26,37	91,27	101,30
1987	4,93	5,30	14,34	15,43	25,40	27,33	94,21	101,35
1988	3,58	3,73	14,46	15,06	26,59	27,69	97,71	101,74
1989	5,67	5,67	16,38	16,38	27,88	27,88	92,73	92,73

Valores con base en el promedio evaluado para todas las sales producidas, sal terminada a granel, pelets compactados y sal empacada F.O.B. planta, incluyendo todos los costos de procesamiento, depreciación de equipos, impuestos y beneficio o rendimiento.

Fuente: Minerals Yearbook - 1989.

se controlarán las descargas de sal en fuentes de aguas subterráneas, pues además de contaminar los pozos de agua dulce, producen incremento en la salinidad de los ríos.

Se están desarrollando inhibidores corrosivos para agregar a la sal roca que es utilizada durante el invierno y así reducir la acción corrosiva sobre puentes y carreteras. Las proyecciones para la sal en los años noventa son optimistas y los principales productores americanos han difundido todos los tipos de sal en la nación y han establecido importantes nexos comerciales con Canadá, México y el Caribe. La consolidación y reestructuración de la industria de la sal americana los ha colocado en una posición ventajosa en el Hemisferio Occidental.

La reestructuración de la industria se ha dirigido a buscar el fortalecimiento

en la línea de productos de cada compañía y a la vez incrementar el radio de acción en el mercado. Para el año 1990 se anunciaron nuevos proyectos y la expansión en algunas de las plantas existentes. (Kostic, 1991).

NIVEL NACIONAL

La explotación de sal en Colombia se obtiene a partir de salinas terrestres y marítimas; localmente a partir de salmueras. Las salinas terrestres se han explotado desde épocas precolombinas. Por más de un siglo la explotación fue realizada mediante el sistema de contratos celebrados entre el Gobierno y los particulares. A partir de 1931 el Estado Colombiano dio en concesión al Banco de la República, la administración y explotación de las salinas terrestres y

en 1941 le cedió también las salinas marítimas. En los años cincuenta se construyó la Planta de Soda de Betania (Cundinamarca) y en 1967 se dio al servicio la Planta de Soda en el complejo industrial de Mamonal (Bolívar). En esta forma se se cumplía el compromiso de atender la demanda de sales procesadas y de materias primas que la industria química nacional requería.

En 1968, el Estado traspasó las plantas de molienda de sal al Instituto de Fomento Industrial IFI y encargó a Concesión Salinas la explotación y comercialización de la sal en Colombia. En 1970 se constituye la sociedad de economía mixta, ALCALIS de Colombia, ALCO LTDA., que sería el único consumidor de las sales de explotación de Concesión Salinas, y a la vez único proveedor de sales procesadas. La crisis económica y financiera que afectó a estas empresas, aceleró el proceso de reestructuración de la industria de la sal colombiana lográndose acuerdos y el otorgamiento de concesiones a empresas particulares para que operen y administren esta industria.

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO.

Los depósitos comerciales de sal conocidos en el país, se localizan en la región central de la Cordillera Oriental (**salinas terrestres**) y en áreas costaneras del litoral Atlántico (**salinas marítimas**) (Figura 1). A lo largo de la Cordillera Oriental y en sectores aislados de la Cordillera

Central, existen fuentes saladas de importancia local. La principal y más extensa formación con evaporitas salinas se desarrolló durante el tiempo geológico Cretácico (Turoniano-Coniaciano temprano). Niveles de evaporitas aparecen en una región que se extiende desde las localidades de Girardot-Pandi (Cundinamarca) hasta Málaga-Guaca (Santander). Los depósitos de sal de la Sabana de Bogotá (minas de Zipaquirá y Nemocón) hacen parte de una cuenca evaporítica que tiene cerca de 100 km de largo y 40 km de ancho.

SALINAS TERRESTRES.

Los depósitos de salinas terrestres se encuentran en la porción central de la Cordillera Oriental y hacen parte de una potente secuencia de rocas sedimentarias cretáceas. Se han identificado cuatro secuencias evaporíticas, cada una asociada con gruesos niveles de arcillolitas negras, limolitas y delgadas capas de caliza.

Las **salinas** más importantes se encuentran en el denominado Sinclinorio de la Sabana de Bogotá y en el Anticlinorio de Farallones. Las minas de sal de Zipaquirá, Nemocón, Sesquilé y las fuentes saladas de Gachetá y Tausa tienen como característica el estar asociadas con estructuras anticlinales. En Zipaquirá y Sesquilé los depósitos de sal se localizan en una estructura acuñada y levantada entre fallas inversas en la cresta de un anticlinal. En Nemocón el yacimiento se encuentra en la zona de cabeceo axial de un anticlinal.

Las **salinas de Zipaquirá y Nemo-**

cón, distantes entre sí unos 16 km, presentan capas de sal gema, interestratificadas con capas macizas o laminadas de arcillolita gris oscura, y en menor proporción con delgadas capas de calizas color pardo oscuro y arcillolita caolinítica de color claro. Los contactos entre la sal y las rocas son gradacionales, localmente es notorio un bandeamiento (17 a 20 láminas claras y oscuras en un metro) de capas de sal con contenidos de arcilla que alcanzan un 20% como impurezas. También se encuentra sal gema maciza, cambiando lateralmente y en pocos metros a roca bandeada.

Los cristales de halita, con tamaños entre 2 y 5 mm, son de color gris claro a gris oscuro, dependiendo de la cantidad de impurezas y el contenido de pirita que presenten. En Zipaquirá, algunos niveles de sal contienen anhidrita en capas lenticulares de hasta 1 m de espesor y 70 m en la dirección del rumbo.

Estos lentes que se asocian con bandas de arcillolita negra, se caracterizan por mostrar contactos bruscos con las capas de sal adyacente, textura brechoide y desarrollo de cristales euhedrales de cuarzo y calcita.

La salina de Upín (Departamento del Meta) es un depósito de sal gema estratificado que puede alcanzar un espesor de 80 m y se encuentra en rocas sedimentarias de la unidad Lutitas de Macanal (Grupo Cáqueza). Se considera que este depósito corresponde a la secuencia evaporítica más antigua de la Cordillera Oriental y se encuentra delimitado por dos fallas inversas de tipo regional.

SALINAS MARÍTIMAS

Las condiciones climáticas de la zona costanera del Litoral Atlántico son favorables para la acumulación y precipitación natural de sales. La topografía facilita la construcción de piscinas o charcas para evaporación y producción de sal marina. Las principales salinas marítimas son: Manaure (Guajira) y Galerazamba (Bolívar). Le siguen en importancia las salinas de Bahía Honda, sitio apropiado para una operación a gran escala, Laguna Grande, Punta de la Vela (Riohacha) y Salamanca (Magdalena).

La salina de Manaure es, por su extensión (4.000 hectáreas inundables) y capacidad instalada (800.000 a 1Mt/año de sal grano lavada) la mayor salina marítima de Suramérica y una de las más grandes del mundo. La salina de Galerazamba tiene un área inundable de 216 hectáreas y una capacidad de producción entre 15.000 y 20.000 toneladas/año de sal grano lavada. (La capacidad instalada es de 32.500 t/año).

Las Fuentes Saladas son de importancia local y están relacionadas con las secuencias evaporíticas de la Cordillera Oriental y principalmente con los depósitos salinos del período Cretácico. Se conocen fuentes saladas desde Icononzo (Departamento del Tolima) hasta Málaga-Guaca (Departamento de Santander). Han sido explotadas para abastecer el consumo local de sal, en las localidades de Tausa, Gachetá, Mámbita (Cundinamarca) Chita, Pauna, Múquene (Boyacá) y Recetor, La Salina y Chámeza (Departamento de Casanare).

En la Cordillera Central (región del centro y sur de Antioquia y el antiguo Caldas) y en el macizo del Nudo de los Pastos (límites entre los departamentos de Cauca, Nariño y Putumayo), las fuentes saladas aparecen asociadas con rocas intrusivas del Batolito Antioqueño, con secuencias volcano-sedimentarias de edad cretácea, con rocas metamórficas de bajo grado y con rocas volcánicas y piroclásticas del Terciario-Cuaternario.

En Antioquia las fuentes saladas de los municipios de Urrao, Sopetrán, Don Matías, San Vicente, Carmen de Viboral, Santuario, Cocorná y Guarne, se encuentran en rocas intrusivas (cuarzodiorita-granodiorita) del Batolito Antioqueño. Las fuentes saladas de los municipios de Frontino, Anzá, Cañas Gordas, Caicedo y Betulia tienen relación con secuencias cretáceas de origen volcano-sedimentario. Asociadas con rocas volcánicas y piroclásticas se citan las fuentes saladas de los municipios de Heliconia, Anzá (Antioquia), Riosucio y Samaná (Caldas).

Reservas

Las salinas de Zipaquirá y Nemocón poseen reservas explotables suficien-

tes para atender la demanda de la región central del país en el largo plazo. Respecto a las salinas marítimas, es más apropiado considerarlas como un recurso natural renovable. La tabla 4 registra las reservas de las salinas terrestres. Las salinas de Tausa y Sesquilé cuentan con un potencial de recurso que aún no ha sido estudiado.

TIPOS DE MINERÍA.

La sal que el país consume es producida por los tres métodos utilizados en otras partes del mundo:

Minería subterránea, inicialmente por el método de cámaras y pilares y actualmente mediante cámaras largas (Mina de Zipaquirá).

Minería por solución, utilizando agua dulce y presión a través de un pozo de inyección, (Minas de Nemocón, Zipaquirá, Upín).

Evaporación solar de agua marina almacenada en charcas previamente construidas, (Salinas de Manaure y Galerazamba).

En la salina de Zipaquirá la explotación se adelanta en tres niveles, el

Tabla 4
RESERVAS DE SAL TERRESTRE EN COLOMBIA
(miles de toneladas)

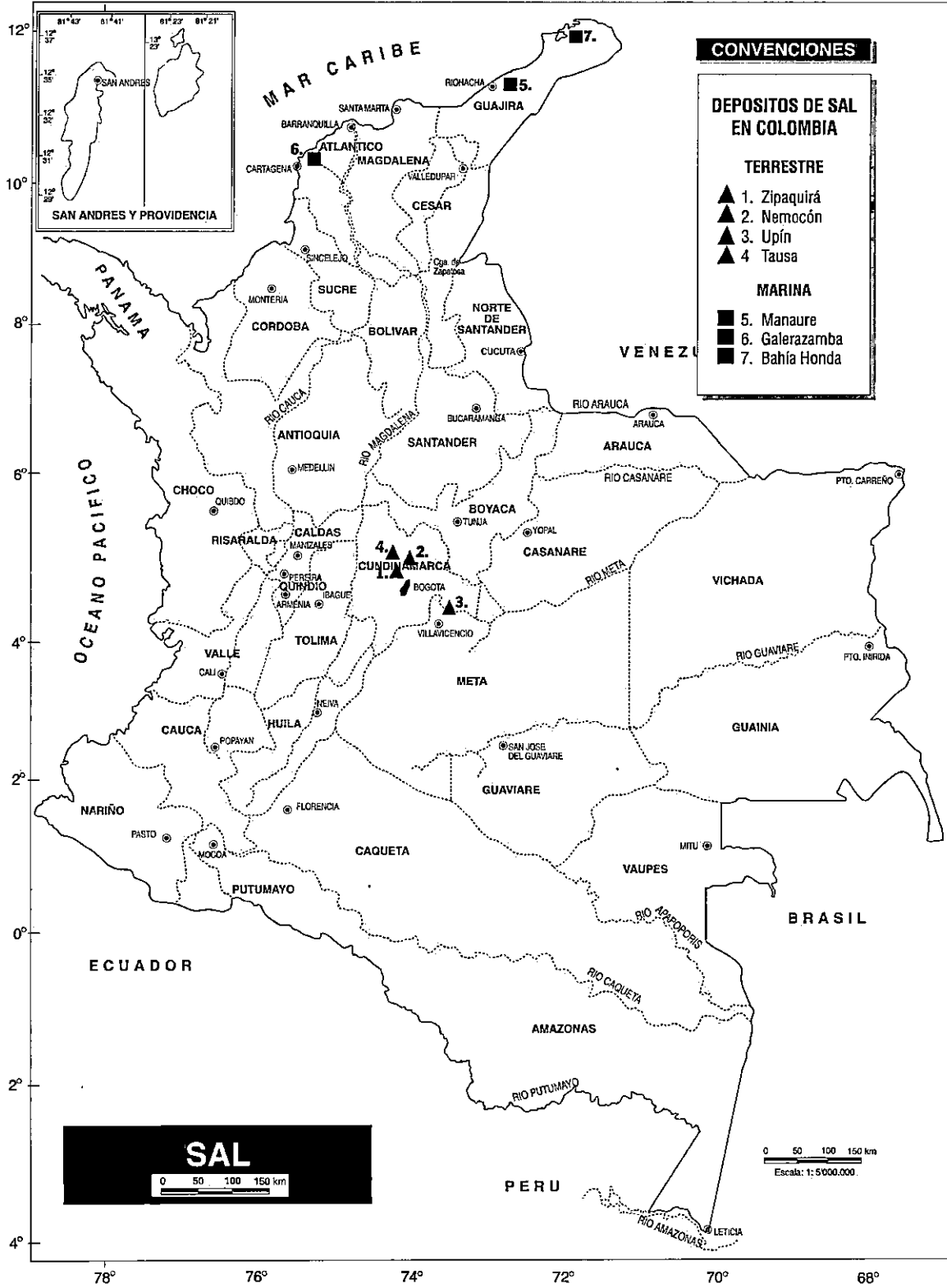
	PROBADAS	PROBABLES	EXPLOTABLES ¹
Zipaquirá	22.000	250.000	32.500
Nemocón	8.000	6.000	1.600
Upín	2.000	3.000	0.600

1= Las reservas explotables se calcularon con un 12% de recuperación in situ.

Fuente: Concesión Salinas, 1994 (Comunicación oral: A Frías)

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA SAL

Figura 1.



método de cámaras y pilares, permite ubicar frentes en los que el avance se realiza mediante perforación y uso de explosivos. La sal roca extraída, es cargada y transportada en volquetas hasta la superficie, donde es sometida a trituración, molienda y cribado. La capacidad instalada inicialmente fue de 400.000 t/año de sal roca, pero por problemas técnicos y financieros se limitó a 250.000 t/año. Se espera que en 2-3 años la minería por solución sustituya la minería tradicional en Zapaquirá (A. Frías, com. oral).

A partir de julio de 1994 la mina de Zapaquirá arrendó a Salinas de la Sabana S.A. por un término de 7 años. Esta empresa está conformada por 83 socios extrabajadores de Concesión Salinas (C. Caltelblanco, com. oral). La explotación se hace combinada por pozos de disolución y por cámaras largas de 100-120 m de largo, 10 m de ancho y 16 m de alto.

La salina de Nemocón es explotada por minería de solución, método en el que se presentan problemas por colapso del techo de las capas suprayacentes y el fenómeno de subsidencia a nivel de superficie. Para evitar esta situación en Zapaquirá se deja una losa de sal de 40 m de grueso que sirve de protección. En pozos perforados en las minas de Nemocón y Upín se han presentado problemas, relacionados con la cementación del pozo.

Un método utilizado para disminuir el riesgo de colapso del techo, es inyectar agua con aire hacia la caverna de sal, el aire forma una cubierta protectora entre el agua y el techo de la cavidad y reduce la cantidad de diso-

lución en el techo. También se acostumbra inyectar aceite a fin de evitar la disolución de la losa de sal.

Después que pozos adyacentes han sido trabajados durante uno o dos años, las cavidades pueden quedar comunicadas; cuando esto ocurre, lo normal es introducir agua por un pozo y remover la salmuera por el otro (Kerns, 1970).

El método hidráulico, en comparación con la minería subterránea mecanizada, presenta las siguientes ventajas: disminuye los costos preoperativos, esto es, los costos de preparación y desarrollo; aumenta la recuperación de la sal en un promedio del 50% en comparación del 20% que se logra en los mejores casos en la minería subterránea; reduce los costos de explotación hasta en un 50% principalmente por la disminución de equipo y de personal que el método hidráulico admite.

En el pasado, la **Salina de Upín** fue explotada por minería subterránea y métodos hidráulicos. Debido a problemas técnicos en la explotación, se continuó pero en forma artesanal, aprovechando la salmuera que fluye por disolución natural de la roca. La salmuera es transformada por cocción en sal caldero. La planta de Upín dispone de 6 hornos, cada uno con 25 pailas o calderas de hierro, que son calentadas utilizando carbón. En 1982-1983 se producían 18.000 t/año y la capacidad instalada era de 19.200 t/año de sal caldero.

La explotación de **salinas marítimas** se concentra en las plantas de Manaure y Galerazamba. En Manaure la

producción de sal resulta de un proceso que se inicia con el bombeo de agua de mar hacia las charcas a inundar. Mediante un segundo bombeo se inundan otras charcas para que la salmuera se evapore por la acción solar y del viento. Luego la salmuera saturada es pasada a los cristalizadores, allí la evaporación del agua conduce a la formación de tortas de sal de alta pureza. (Una excesiva evaporación de agua, lleva a que se precipiten potasio, magnesio y otros elementos que contaminan la sal).

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION.

La sal roca luego de ser extraída es disuelta y transformada en salmuera y posteriormente por cocción se pasa a sal caldero o es convertida en sales procesadas (refinada, yodada, industrial) o en carbonatos, soda cáustica y cloro.

La mayoría de depósitos de sal roca, además de cloruro de sodio contienen sustancias que incluyen sulfato de calcio, cloruro de calcio, sulfato de magnesio, cloruro de magnesio, sulfato de sodio, bicarbonato de calcio, cloruro de potasio y bromuro de magnesio entre otras. Las impurezas están en el rango de 1-4%, aunque las salmueras naturales o conatas difieren en tipo y concentración de impurezas respecto de la sal roca y de las salmueras artificiales. En general contienen cloruros de calcio, magnesio y potasio y son bajas en contenido de sulfato de calcio.

La sal roca de Zipaquirá contiene 85% de cloruro de sodio y el resto son impurezas: arcilla, piritita y arena. El mineral es diluido en agua dulce obteniéndose salmuera de concentración 295 g/litro, las impurezas son desechadas por decantación. Utilizando un salmueraducto, la salmuera es transportada a la planta en Betania, donde es transformada en sal refinada, industrial y en carbonatos.

Las salmueras de fuentes naturales y de la producción hidráulica, son tratadas sin mayor técnica para producir sal caldero o por tratamiento industrial para obtener sal refinada y carbonatos. La salmuera de la explotación marítima debe pasar por cristalizadores donde se forman tortas de sal, mientras que las salmueras residuales (que contienen sales de potasio, magnesio y calcio) deben retirarse para continuar con la obtención de sal grano. La sal grano es lavada y molida cuando va a usos industriales o agropecuarios, o es utilizada como materia prima en la producción de sales procesadas y carbonatos.

La sal para consumo humano, industrial y agropecuario, requiere de procesos de refinación y yodado. La Concesión Salinas y la desaparecida ALCALIS de Colombia han sido las empresas procesadoras de sal en Colombia. La sal refinada se obtiene por agitación de la salmuera en una solución de carbonato de calcio e hidróxido de sodio, seguida de un proceso de purificación y yodado. Por evaporación al vacío se consigue aumentar la concentración, paso previo al proceso de secado. En las Plantas de Betania y Mamonal, ALCALIS de

Colombia procesaba: carbonato de sodio, soda cáustica, cloro, bicarbonato de sodio, sulfuro de sodio, hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico.

Como ocurrió con la industria de la sal en Estados Unidos, la industria de la sal en Colombia ha sido reestructurada. ALCALIS ha sido liquidada y mediante licitación pública fue vendida a la Empresa REFISAL, por un monto cercano a 15 mil millones de pesos, transacción realizada con el IFI. Igualmente, Concesión Salinas ha sido reestructurada. La salina de Zipaquirá operaba con pérdidas estimadas en 3.000 millones de pesos por año, debido entre otras razones a la carga laboral, baja utilización de la capacidad instalada, desperdicio real (25%) y castigo fiscal (32%).

Dada esta situación, el Gobierno decidió poner en licitación y ofreció Zipaquirá y Nemocón como una sola mina. Como en casos similares, también se han concedido ventajas a los extrabajadores que participen en la licitación. Bajo el esquema de operación privada, a partir de julio de 1994 al entrar en funcionamiento la nueva empresa Salinas de la Sabana S.A. se estima alcance una producción de 250.000 t/año de sal roca que serán destinadas a la nueva firma REFISAL que además procesará 7.200 t/año como sal gema molida.

La salina de Manaure se ha visto afectada por problemas laborales y sociales, particularmente con la comunidad indígena Wayúu, ya que la mina está localizada en una zona que corresponde al resguardo indígena de la media-alta Guajira. De

4.000 hectáreas inundables, 1.400 están fuera de la zona y 2.600 dentro del resguardo. Por el uso de esta zona el Estado colombiano se comprometió a construir una ciénaga artificial para piscicultura y a realizar otras obras en la región. Como alternativa se ha sugerido que el IFI saque a licitación y arriende a una empresa operadora, en la que la comunidad indígena tenga participación.

Mediante el decreto 1376 de junio 30 de 1994 el Gobierno dio vía libre a la creación de una sociedad de economía mixta integrada en un 25% por la comunidad Wayuu, a través de la asociación de autoridades tradicionales indígenas Wayúu, y en un 75% por entidades estatales. La nueva sociedad SAMA (Sociedad Salinas de Manaure) estará vinculada al Ministerio de Desarrollo y explotará los yacimientos de sal marina ubicados dentro del resguardo de la comunidad Wayúu en Manaure. La explotación será mediante el sistema de concesión y se tratará de que no se interrumpa la explotación de la sal durante el proceso de liquidación de la sociedad actual y creación de la nueva. (El Espectador, julio 2/94).

A finales de 1992 y dentro del plan de retiro voluntario de los trabajadores, Concesión Salinas solicitó un operador privado para la salina de Upín. Además se estuvo de acuerdo en que la nueva empresa estuviera conformada por los extrabajadores. La licitación fue ganada por Sales del Llano S.A. empresa conformada por 89 de los 127 extrabajadores de la salina de Upín. A finales de 1992 la salina registraba pérdidas entre 700 y 900

millones de pesos. Si hubiese continuado operando, las pérdidas en 1993 habrían sido de \$1.050 millones de pesos. La nueva empresa comenzó a operar en mayo de 1993, y para el mes de diciembre, con balance de prueba, estaba rindiendo utilidades y generando empleo social. Con 89 trabajadores está produciendo 12.000 t/año sal caldero, mientras que antes, con 127 hombres sólo se producían 10.000 t/año.

Características del Mercado

DEMANDA

Un estimativo aproximado sobre demanda de sal en Colombia, sólo es posible si se tiene en cuenta los requerimientos de los diferentes tipos de sal, a saber: a) demanda de sales de explotación por parte de la antigua empresa ALCALIS; b) demanda de sales procesadas: refinada yodada (para industria de alimentos y consumo humano); sal molida e industrial (para textiles, química y curtiembres); sal caldero (para ganadería), y c) demanda de los derivados de la sal (industria del vidrio, jabones, detergentes, química, pulpa y papel). El país registra una alta demanda de sal en el mercado de las sales procesadas y de los derivados de la sal. La demanda de las sales procesadas depende principalmente del índice de incremento poblacional y del desarrollo de los sectores industrial y agrícola. Asumiendo un consumo per cápita de 7 kg/año y estimativos de proyección de población del DNP (sept./82), IEC-INTEGRAL (1985) estimó la siguiente demanda de sal refinada para consumo humano directo e indirecto:

1985: 200.000 t
1990: 219.200 t
1995: 237.800 t
2000: 254.700 t

Si se compara la capacidad instalada en los años ochenta (mayor de 800.000 t) con la demanda futura, vemos que la capacidad superaba ampliamente los requerimientos en el corto, mediano y largo plazo. Actualmente la situación ha cambiado y el país se ha visto en la necesidad de importar sal principalmente de Venezuela.

La demanda sobre los derivados de la sal es ejercida por diferentes sectores y está regida por el tipo de producto, grado de concentración y modo de presentación. Si se desea conocer mejor el comportamiento de estos productos, es más práctico considerarlos como grupos, por ejemplo, carbonatos, soda cáustica al 100 y 50%; cloro y derivados al 100% y otros productos al 100%.

OFERTA.

La producción nacional de sales de explotación en el período 1980-1990 registró un comportamiento irregular, resultado de la baja demanda por ALCALIS de Colombia, única empresa compradora de sal de explotación en el país. Además la competencia ejercida por las sales de contrabando, también afecta la producción de sal de explotación. La capacidad de producción de sales de explotación y la capacidad instalada para sal refinada e industrial permiten deducir que la producción de sal en Colombia ha estado en niveles por debajo de lo que el país está en condiciones de producir (Tabla 5).

A partir de 1974 la capacidad instalada de sales de explotación (1,34 millones de toneladas) superó ampliamente, tanto a la producción de sal gema roca como la de sal grano. La utilización de la capacidad instalada para sal gema roca en Zipaquirá ha estado entre 60 y 85%, mientras que en el caso de la sal grano en Manaure y Galerazamba, la máxima utilización (83%) se presentó al primer año de la ampliación de la salina de Manaure (1973) y la mínima bajó a 19,8% en 1982.

Del total de sales de explotación que ALCALIS compraba a Concesión Salinas, cerca del 75% se utilizaba como materia prima para la elaboración de alcalis. Debido al cierre y desmonte de la Planta Electrolítica de Mamonal (junio de 1977); la reducción en la demanda de sales procesadas y a la recesión industrial, la producción de ALCALIS ha disminuido significativamente. También se registra baja producción en los derivados de la sal; caso de la soda cáustica, resultado de los altos costos de producción por vía Solvay y a los bajos precios internacionales, factores que fueron determinantes en el cierre de la planta Krebs de Mamonal (julio 1979). Según esto, el país dejó de producir soda cáustica (Solvay), carbonato de sodio, cloro y ácido clorhídrico.

La producción nacional de sal refinada es de 1.500 t/mes y la demanda de 25.000 t/mes, que corresponde a la capacidad actual instalada (Betania: 10.000 t/mes; Mamonal: 15.000 t/mes). En 1993 la producción nacional de sal refinada sólo fue de 180.000 toneladas, es decir que se operó a un

Tabla 5
VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE SAL (1988 - 1993)
 (Toneladas netas x 1000) (Miles de pesos corrientes)

DETALLE	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Cantidad de Sal						
Terrestre	209,1	190,4	208,7	218,7	230,0	30,6
Marina	473,5	469,9	487,2	482,4	317,1	169,3
TOTAL	682,6	660,3	695,9	701,1	547,1	199,9
Valor de Sal						
Terrestre	734,0	850,0	865,0	877,7	1.245,9	201,5
Marina	1.844,4	1.950,0	2.100,0	2.180,8	1.935,0	1.252,9
TOTAL	2.578,4	2.800,0	2.965,0	3.058,5	3.180,9	1.454,4

Fuente: Ministerio de Minas y Energía. Oficina de Planeación. 1992 Memorias al Congreso Nacional 1992 - 1993. Minminas. Minerales (Estadísticas del sector minero, 1994).

60% de la capacidad instalada. Entre los meses de agosto y diciembre de 1993, la planta de Mamonal produjo 35.000 toneladas. La planta de Betania reinició operación en febrero de 1994 y se estima una producción de 10.000 t/mes (F. Alvarez, comunicación oral).

PRECIOS.

Sales de explotación:

Sal grano lavada \$25.000/t

Sal gema molida en planta \$48.000/t

Sales de fuentes saladas

Sal molida \$80.000 \$90.000/t
 (Recetor, Chámeza, La Salina)

Sales procesadas:

Refinada * \$125.000 -
 \$180.000/t
 Industrial*

Molida Caldero
 (Upín) \$72.000/t

* Costos de producción se asimilan a los precios de venta ALCALIS-Sa-

linas. Fluctuación del precio años 1992-1993

IFI compra a Salinas de La Sabana a \$2.700/t y vende a REFISAL a \$43.000/t.

Fuente: Concesión Salinas 1994 (A. Frias, comunicación oral) ALCALIS 1994 (F. Alvarez, comunicación oral) Salinas de la Sabana (C. Castelblanco, comunicación oral)

En 1989 la Salina de Zipaquirá registró las siguientes cantidades y valores en las actividades de explotación (Concesión Salinas 1990):

- Máxima capacidad instalada 240.000 t/año.
- Máxima capacidad de producción 180.000 t/año.
- Tiempo laborado: 5 días/semana en 2 turnos y 14 horas/día.
- Cantidad de sal transformada: 135.000 t/año a un costo de \$7.093/t.

El producto final consistió de:

Sal gema: 165.500 t con una concentración de 83% NaCl.

Volumen de agua: 500.000 m³.

Cloruro de sodio disuelto a 0,3 t/m³ salmuera.

Entre enero de 1991 y abril de 1992 el precio de la sal refinada al público se incrementó de: \$94.952/t a 145.500/t. El precio en planta estuvo en US\$162/t (Concesión Salinas, abril 10/92).

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA EN EL PAÍS

Las innovaciones o adaptaciones en las técnicas de fracturamiento hidráulico, en el proceso de molienda y purificación de la sal y el uso de métodos termoadhesivos para separar la sal de los desechos, son entre otras, medidas que han sido implementadas por la industria de la sal de otros países. En el caso de Colombia es necesario que la industria de la sal evalúe los resultados sobre investigación de métodos de producción, productos y mejoramientos de la calidad de los mismos. Según cálculo de IEC-INTEGRAL (1985) la demanda esperada de sal de explotación, bien sea produciendo soda cáustica nacional o aún siendo importada, muestra la siguiente proyección: en el escenario final optimista y alternativa baja, la capacidad instalada actual de sales de explotación (1'334.000 t) es suficiente para atender la demanda interna esperada hasta el año 2005.

Asumiendo que un 30-35% del total de la producción anual de sal sea

usada en la producción de carbonato de sodio; en el escenario pesimista (sustitución del carbonato de sodio producido industrialmente por trona, un material natural, con un costo de producción más bajo) la demanda interna de sal de explotación requerirá tan sólo de un 63-75% de la capacidad actual instalada.

En la explotación de sal marina también subsisten problemas que afectan la rentabilidad de esta actividad. En Galerazamba las condiciones climáticas no han sido las más favorables como para sostener un apropiado volumen de producción, quedando un exceso de capacidad instalada sin aprovechar. En Manaure, Concesión Salinas sólo utilizaba un 50% de la capacidad instalada, otra parte de las instalaciones lo aprovechaban por explotadores clandestinos que producían sal de contrabando, que al tener precios mucho más bajos que los de Concesión Salinas, inundaban el mercado de las sales de consumo industrial y agropecuario.

Gran parte de los antiguos Territorios Nacionales y la Costa Atlántica son abastecidos por la sal de contrabando. Igualmente, la sal de la salina de Upín tampoco es yodada. Se ha encontrado que el yodo es necesario para el desarrollo del feto y el recién nacido, que regula el funcionamiento de la glándula tiroidea y el metabolismo del cuerpo humano (TIME, febrero/92). Según estudios de la Universidad Nacional, el 25% de la sal de consumo humano carece de yodo; en poblaciones como Yopal (Casanare) el 40% de la población presenta problemas asociados con bocio o coto (El Tiempo, abril 5/92).

En la transformación de la sal a sales procesadas y sus derivados, los mayores problemas se registran en la producción de derivados. Las Plantas de soda ash y soda cáustica (Solvay) de Mamonal están fuera de servicio por altos costos de producción. La Planta cáustica electrolítica (cloro-soda) de Mamonal también está fuera de operación por problemas económicos y de contaminación a la Bahía de Cartagena.

En la producción de soda cáustica las restricciones de tipo ambiental demandan un mayor control en el manejo de los grandes volúmenes de cloro que resulta como subproducto. La demanda de soda cáustica y de cloro por parte de la industria papeleira (Papelcol, Cartón de Colombia) condujo a la constitución de PRODESAL, empresa que instaló el montaje de una Planta (Yumbo, Valle) para la producción de soda cáustica, cloro y sus derivados por vía electrolítica.

La materia prima es sal de Manaure, que llega por el puerto de Buenaventura. PRODESAL produce soda cáustica en solución al 37% la que es utilizada principalmente en la pulpa de madera como deslignificador de la fibra leñosa y decolorante de la pulpa resultante.

En 1989 el Departamento del Valle del Cauca importó soda cáustica en solución, en un volumen de 26.137,3 toneladas, por un valor CIF pesos corrientes de \$2.523'209.566 o (US\$7'-140.671) y Cundinamarca (donde opera la planta de Betania) importó 68.563,9 toneladas por un valor CIF pesos corrientes \$4.636'588.971 o

(US\$12'863.015) (DANE. Anuario de Comercio Exterior, 1989).

Los productos derivados de la sal que el país demandó en 1989, se importaron a un costo cercano a \$12.380'000.000 (pesos corrientes), cifra que demuestra la importancia que la industria de sal tiene en el contexto económico del país.

RECOMENDACIONES

- La paralización de algunas de las plantas industrializadoras de sal en el país, los altos costos de producción, problemas de contaminación, particularmente en la Bahía de Cartagena y factores de tipo social y laboral son las principales causas que han motivado la crisis y el estado en que se encuentra la industria de la sal en Colombia. Países con suficiente tecnología, como en el caso de Estados Unidos, también se han visto precisados a emprender una reestructuración en esta industria. La reestructuración contempla el refinanciamiento, adecuación de plantas instaladas y una política definida que involucre desde la misma explotación y beneficio, hasta la distribución y comercialización de la sal y sus derivados.

Al igual que en otros países, es necesario realizar innovaciones o adaptaciones en las técnicas de fracturamiento hidráulico, en el proceso de molienda y purificación de la sal y el uso de métodos termoadhesivos para separar la sal de los desechos o impurezas.

-
- Es prioritario revisar los sistemas de costos, en la parte administrativa, financiera y en las técnicas de explotación e industrialización, con el fin de reevaluar los sistemas actuales y modificar o implementar cambios en los aspectos en que se concluya están los principales problemas.
 - Un programa de exploración sistemática regional y detallada en las áreas que contienen depósitos de evaporitas conduciría a un mejor conocimiento no sólo de los recursos de sal, sino también de yeso y del potencial de sales de potasio y magnesio asociadas.
 - Colombia cuenta con suficientes reservas de sal terrestre y con excelentes condiciones para producir sal marina en varias localidades de la Costa Atlántica. Además de Manaure y Galerazamba, está Bahía Honda, con condiciones comparables o mejores que Manaure. Esta situación amerita estudios que demuestren la viabilidad de establecer sistemas industriales que aporten la sal que el país requiere y el procesamiento económico de los productos derivados de la sal.
 - La industria de la sal en Colombia atraviesa por una situación de crisis, semejante a la experimentada aún por países desarrollados, el caso de Estados Unidos. Actualmente se adelanta la reestructuración y privatización de esta industria. Algunos de los problemas que afectan la industria nacional, lo son también a nivel mundial, lo cual significa que las estrategias y medidas que sean implementadas por la industria de la sal deben enmarcarse según el contexto de apertura de mercados e internacionalización de la economía.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Principales Estadísticas de la Sal en USA, período 1985-1989.
- TABLA 2. Producción Mundial de Sal por Países, 1985-1989.
- TABLA 3. Relación Tiempo-Valor para los Tipos de Sal, 1980-1989.
- TABLA 4. Reservas de Sal Terrestre en Colombia.
- TABLA 5. Volumen y Valor de la Producción de Sal, 1988-1993.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Sal.

BIBLIOGRAFIA

- FRIEDMAN, G.M., 1978. Depositional environments of evaporite deposits Section 9 in: Dean and Schreiber B. eds. Marine Evaporites. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist Short Course.
- GARRET. D. and PHILLIPS, J., Sodium Carbonate from natural sources in the USA, in: Industrial Minerals and Rocks 1960. Third Ed. AIME, N.Y.
- GOUDGE, M. and TOMKINS, R., 1960. Sodium Sulfate

from natural sources, in: Industrial Minerals and Rocks 1960. Third Ed. AIME, N.Y.

IEC-Integral, 1985. Sal, en: Plan Minero para el Desarrollo del País.

KERNS, W.H., 1970. Sodium, in: Mineral Facts and Problems. Bureau of Mines. Bulletin 650. United States Dept. of the Interior.

KOSTICK, D.S., 1990. Salt, in: Minerals Yearbook 1989. Bureau of Mines. United States Dept. of the Interior.

MACMILLAN, R.J., 1960. Salt, in: Industrial Minerals and Rocks 1960. Third Ed. AIME, N.Y.

MCLAUGHLIN, D. y ARCE, M., 1971. Recursos Minerales de parte de los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta. Bol. Geol. 19,1. Ingeominas. Bogotá.

MORSE, D.E., 1985. Salt, in: Mineral Facts and Problems 1985. Edit. Bureau of Mines Bulletin 650. United States Department of the Interior.

SHEARMAN, D.J. 1978. Evaporites of coastal Sabkhas. Section 2, in: Dean and Schreiber, B. eds. Marine Evaporites. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Short Course.

WALKER, R.G., 1984. Facies Models. Geoscience Canadá, Reprint Series 1. Second Edition. Ontario, Canadá, 318 p.



Humberto González I. ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico - Mineros

La producción mundial de asbesto está representada entre un 90 y 95% por la serpentina variedad crisotilo, en tanto que los minerales del grupo de los anfíboles como la tremolita, la antofilita y demás asbestiformes constituyen el porcentaje restante. El tipo de minería predominante es a cielo abierto.

La Comunidad de Estados Independientes (CEI), Canadá, Zimbawe, Swazilandia y Africa del Sur poseen los mayores depósitos.

En Colombia se presentan manifestaciones de crisotilo en cuerpos de serpentinita asociados al sistema de fallas Cauca - Romeral. La única ocurrencia de importancia económica se encuentra relacionada con el complejo ultramáfico de Campamento en la Cordillera Central, unos 40 km al Este del Sistema de Fallas de Romeral, y ha sido explotado por la Empresa Minera Las Brisas desde finales de 1980 hasta 1992, año en que fueron suspendidas las operaciones por razones de orden público; el depósito está constituido en alto porcentaje por crisotilo. La Empresa reportó reservas en 1985 de 8.397.500 toneladas de mineral con un tenor promedio de 4,6%, para una vida útil de 30 años, con explotación a cielo abierto.

Prospectos de menor importancia económica se encuentran al Noroeste de Yarumal, al Este de Sabanalarga y al Norte de Briceño.

Estructura de la Industria

Silicatos de hábito fibroso, conocidos comercialmente como asbestos, son esenciales en la tecnología moderna para la elaboración de productos antifricción y aislantes térmicos. La industria del asbesto-cemento, consume cerca del 70% de la producción mundial.

(1) Geólogo, Ingeominas Medellín.

La producción de fibras en los años 70's se incrementó hasta alcanzar un máximo en 1978, año a partir del cual ha venido declinando debido, entre otras razones, a las políticas sobre control ambiental y de salud puestas en ejecución para algunos países industrializados.

Universalmente estos productos se utilizan en la construcción de viviendas, en plantas industriales y en la fabricación de conducciones de agua. Sin embargo, la amplia gama de sustitutos permite estimar que la tasa de crecimiento mundial decaerá en los próximos años y por consiguiente esta tendencia también la tendrán los precios.

En Colombia, el 90% del consumo está en la industria de asbesto-cemento, la cual hasta 1992 estaba cubierta en el 50% por la producción de la Empresa Minera Las Brisas, pero debido al cierre de ésta, se incrementaron las importaciones procedentes principalmente de Canadá, y la utilización de sustitutos.

Características del Mercado

Tanto el uso como el costo del asbesto está relacionado directamente con las propiedades físicas y químicas de las fibras (flexibilidad, longitud, resistencia a la tensión, reacción química, resistencia al calor, conductividad eléctrica y características de filtración). La combinación de propiedades regulan los usos y sus precios.

El crisotilo por sus propiedades físi-

cas, químicas y mayor longitud, es el asbesto de mayor valor comercial. Las aplicaciones son variadas y se estima que unos 3.000 artículos son fabricados con este mineral gracias a sus diferentes propiedades.

Estados Unidos, Europa y Japón han sido históricamente los países de mayor demanda de asbestos.

En Colombia con el cierre de la explotación en Campamento y la internacionalización de la economía, se incrementó tanto la importación de materia prima y sustitutos, como el desarrollo de empresas nacionales en la manufacturación de artículos para el reemplazo de productos de asbesto-cemento.

Proyecciones

Debido a las políticas anticontaminantes y al uso de sustitutos, las grandes empresas productoras de asbesto a nivel mundial han estado trabajando al 50% de la capacidad instalada y se prevé para el futuro una sobreoferta mundial de artículos producidos a partir del asbesto.

De otro lado, a nivel nacional, las restricciones ambientales que se ven llegar, debido a la reciente creación del Ministerio del Medio Ambiente, así como dificultades de orden público en el Municipio de Campamento y al desconocimiento del potencial económico de los prospectos mineros, descartan el interés de inversionistas nacionales o extranjeros en la industria extractiva de asbestos.

Perspectivas de Desarrollo en el País

Para Estados Unidos, la Environment Protection Agency (E.P.A), en acta firmada el 12 de julio de 1989 estableció una normatividad, la cual debe ser cumplida en tres etapas; la primera aplicada efectivamente en agosto de 1990 prohíbe el uso de asbestos en los pisos, techos, tuberías, láminas planas y corrugadas de asbesto cemento, pisos de asbesto vinilo y prendas de vestir. La segunda prohíbe el uso de asbesto en empaquetaduras y componentes de transmisión y frenos de disco, esta venció en agosto 25 de 1993. La tercera, prohíbe su uso en papel y cartón, tejas de asbesto-cemento, revestimiento para techos, bloques para frenos y repuestos para frenos de disco y tambor vence en agosto de 1996. Sobre estas prohibiciones se han manifestado las instituciones y organizaciones de los industriales del asbesto solicitando al Gobierno su revisión y modificación. En caso de que en Estados Unidos se impongan limitaciones adicionales a las referidas anteriormente, se prevé que disminuirá ostensiblemente su demanda futura a nivel mundial y por ende a nivel nacional.

SITUACION MUNDIAL

El término asbesto es un nombre genérico empleado para designar un grupo de silicatos naturales de hábito fibroso que pueden ser separados por medios mecánicos en fibras de diferentes longitudes y secciones transversales. En general se reconocen dos grupos principales de asbestos: el primero incluye la variedad fi-

broza de serpentina llamada crisotilo y el segundo, minerales del grupo de los anfíboles: crocidolita, amosita, antofilita, tremolita y actinolita.

Algunos procesos metamórficos originan depósitos de minerales no metálicos; los minerales originales de la roca sufren recristalización, metasomatismo o ambos procesos a la vez, en algunos casos con adición de una fase volátil, pero no se introducen nuevos componentes como ocurre en los depósitos metasomáticos de contacto.

Un pequeño porcentaje de los asbestos corresponde a anfíboles de hábito fibroso relacionados a metamorfitas básicas.

La deformación bien sea como fallamiento, fracturamiento o zonas de cizalladura, tiene un papel importante para la prospección y localización de los depósitos de asbestos (Cooke, 1937).

La aplicación del asbesto industrial se inició a partir de 1870 después del descubrimiento de los grandes depósitos de Quebec, Canadá. Durante el presente siglo el asbesto ha llegado a ser uno de los minerales más importantes y en algunos casos, como en el revestimiento de frenos, no se ha encontrado un sustituto adecuado. Sin embargo, las restricciones de tipo ambiental impuestas por los países industrializados han impulsado, en los últimos años, las investigaciones para buscar reemplazos lo cual ha influido en la producción.

La Comunidad de Estados Independientes (CEI), antigua Unión Soviética,

produce cerca del 60% de la cifra reportada mundialmente.

La longitud de la fibra determina, en gran parte, la aplicación industrial y el valor del asbesto: las fibras largas dan hilos fuertes, las fibras cortas no pueden hilarse y se emplean como aislantes o en productos de asbesto-cemento.

La fibra se clasifica según su longitud (A.S.T.M) y para una misma calidad el precio varía considerablemente de acuerdo a ella.

La antofilita se presenta en agregados de fibras, cortas y frágiles, de aspecto masivo, no hilable y se emplea especialmente como aislante térmico. La amosita es una variedad de antofilita rica en hierro que se encuentra en fibras de gran longitud, desmenuzables y ásperas, algunas pueden hilarse pero se usan principalmente como aislante térmico.

La tremolita y la actinolita son anfíboles fibrosos de poco valor comercial y se usan triturados como aislante.

La disposición de las fibras en la vena puede ser recta, suavemente curvada o contorsionada. Las fibras fuertemente curvadas se rompen fácilmente y pierden valor en el mercado.

El mundo cuenta con altas reservas probadas de asbesto distribuidas geográficamente en todos los continentes (Figura 1), la producción mundial se ha mantenido constante a partir de los inicios de la década de los 80's hasta 1991, año en que disminuyó en un 19%, debido tanto a las políticas

anticontaminantes, como al uso de sustitutos puestos en marcha en países industrializados.

Aspectos Geológico-Mineros

El crisotilo se encuentra asociado a rocas ultramáficas serpentinizadas y ocasionalmente a calizas dolomíticas serpentinizadas.

Del 90 al 95% de la producción mundial de asbestos corresponde al crisotilo y de éste, la mayoría proviene de depósitos asociados a rocas ultramáficas como roca encajante (Berger, 1963; Bates, 1969). El resto de la producción proviene de calizas dolomíticas serpentinizadas. De las otras variedades de asbestos, la amosita y la crocidolita se encuentran en metasedimentitas ferruginosas y constituyen cerca del 5% de la producción mundial.

La tremolita y la antofilita complementan el porcentaje restante de la producción y se encuentran asociadas a metamorfitas ultramáficas.

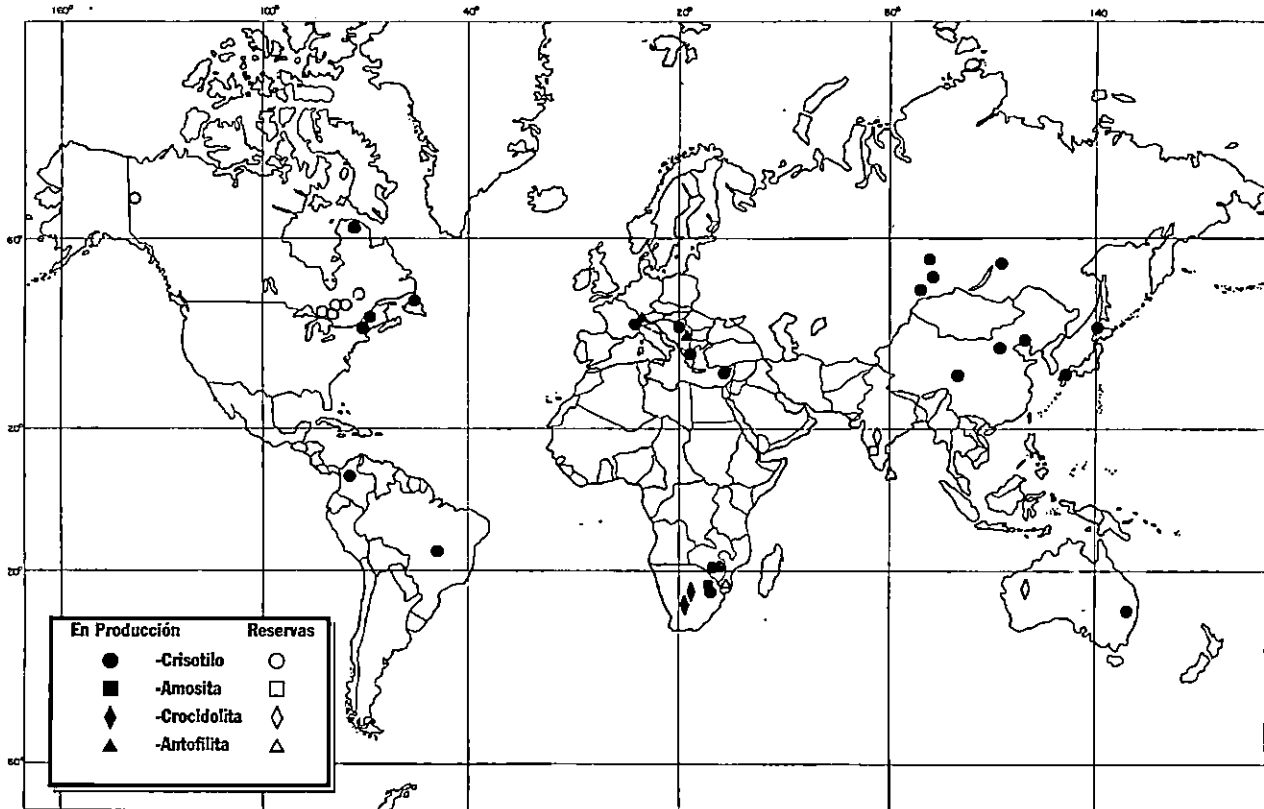
AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

Algunos procesos metamórficos originan depósitos económicos de minerales no metálicos, como ocurre en el caso del asbesto: los minerales del protolito sufren recristalización, metasomatismo o ambos procesos a la vez, originando estos minerales.

La edad de los yacimientos de asbesto varía desde el Precámbrico más temprano en Zimbawe y Swaziland al Jurásico Superior en California. Los de Ontario, Ungove y Brasel son Precámbricos mientras que los de Que-

DEPOSITOS DE ASBESTOS EN EL MUNDO

Figura 1.



Fuente: Industrials Minerals and Rocks. 1979

bec, Vermont y Terranova se asignan asociados al plegamiento de la Orogenia Caledónica. Los de Canadá occidental están relacionados a la Orogenia Hercínica del Paleozóico Superior, mientras que los de Asia Septentrional tienen edades entre el Paleozóico temprano y el Paleozóico Superior hasta el Triásico.

La deformación bien sea como fallamiento, fracturamiento o cizalladura, tiene un papel importante en la localización de los depósitos de asbesto (Cooke, 1937). La mayoría de los depósitos de asbesto tienen como roca encajante peridotitas serpentinizadas y no dunitas. La tabla 1, relaciona los minerales de asbesto y su composición química.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Los países con mayores reservas explotables se relacionan en la tabla 2.

TIPOS DE MINERIA

El sistema cuya tendencia dominó en Canadá a fines de la década de los años 40 y al principio de los 50, cuando la mayoría del asbesto se extraía por métodos de minería subterránea, ha cambiado y ahora predomina la explotación a cielo abierto.

El desarrollo de la minería del asbesto ha estado controlado por la innovación en equipos y métodos de minería. En la actualidad en minas a cielo abierto, se usan potentes palas que

cargan directamente el material en vehículos de trabajo pesado.

Los métodos de explotación empleados en la minería subterránea son: derrumbe y extracción por subniveles, excavación por bloques o por un método combinado de extracción a cielo abierto y subterráneo llamado "glory holes".

Gran parte del crisotilo, en África, se explota por minería subterránea. Los cuerpos de mineral son por lo general de forma tubular, con un buzamiento fuerte, y por lo tanto el límite económico para su explotación a cielo abierto se alcanza en las primeras etapas de producción. El espesor pro-

Tabla 1
COMPOSICION QUIMICA DE LOS ASBESTOS

	CRISOTILO	CROCIDOLITA	AMOSITA	ANTOFILITA	TREMOLITA
SiO ₂ , %	37,0 - 44,0	49,0 - 53,0	49,0 - 53,0	56,0 - 68,0	53,0 - 62,0
MgO, %	39,0 - 44,0	0,0 - 3,0	1,0 - 7,0	28,0 - 34,0	0,0 - 30,0
FeO, %	0,0 - 6,0	13,0 - 20,0	34,0 - 44,0	3,0 - 12,0	1,5 - 5,0
FeO ₂ O ₃ , %	0,1 - 5,0	17,0 - 20,0	-	-	-
Al ₂ O ₃ , %	0,2 - 1,5	-	2,0 - 9,0	0,5 - 1,5	1,0 - 4,0
H ₂ O, %	12,0 - 15,0	2,5 - 4,5	2,0 - 5,0	-	0,0 - 5,0
CaO, %	5,0	-	-	-	0,0 - 18,0
Na ₂ O, %	-	4,0 - 6,5	-	-	0,0 - 9,0
CaO+Na ₂ O, %	-	-	0,5 - 2,5	-	-

Fuente: Industrial Minerals and Rocks, 1979

medio de las zonas mineralizadas varía entre 24,4 y 61,0 m, con un máximo de 121,9 m. Algunos cuerpos mineralizados, especialmente en el distrito Shabany de Zimbabwe, son extensos en longitud; en un caso específico, un cuerpo se ha explotado sobre una extensión de 4,8 km a lo largo del rumbo, y ha sido perforado hasta 30,5 m de profundidad. Se han empleado diversos métodos de explotación subterránea, incluyendo los de corte y relleno. Hoy en día, el método de excavación y extracción por subniveles produce la mayor parte del mineral extraído.

La mayoría de la amosita y de la crocidolita, en Africa, se extraen de pequeñas y estrechas excavaciones a cielo abierto, o de pequeños túneles casi horizontales que siguen la franja portadora del mineral. En la zona de Penge las operaciones se han desarrollado a mayor escala con minería más profunda.

La principal formación de asbesto tiene un espesor constante de 1,37 m, con buzamiento de 20°. La banda portadora de asbesto contiene hasta

Tabla 2
RESERVAS MUNDIALES DE ASBESTO
(miles de toneladas)

PAIS	RESERVAS	RESERVAS BASE
Estados Unidos	4.000	8.000
Brasil	Moderadas	Moderadas
Canadá	40.000	47.000
China	Altas	Altas
Suráfrica	500	8.000
Zimbabwe	Moderadas	Moderadas
Otros	Altas	Altas
TOTAL	ALTAS	ALTAS

Fuente: Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries, United States Department of Interior - 1993.

30% de fibra, de modo que la relación desecho a material estéril funciona bien para el sistema de explotación usado.

El proceso de beneficio se diseña de acuerdo a las características de cada cuerpo. La fibra procesada se obtiene mediante un proceso en seco el cual ha sido empleado casi exclusivamente desde que se empezó a beneficiar el asbesto en Canadá. Sin embargo, en algunos casos se ha realizado beneficio en húmedo de alguna cantidad de fibra. Este método de beneficio podrá ser estudiado más detenidamente en el futuro. Las principales mejoras se han desa-

rollado en los procedimientos de manejo del material, empaque y método de transporte.

La alimentación de la planta de beneficio proviene de la operación de minería, bien a cielo abierto o subterránea. La trituración primaria se puede efectuar bajo tierra en caso de una mina subterránea o en superficie en caso de minería a cielo abierto.

La concentración es un paso fundamental en el proceso de beneficio del asbesto y es particularmente importante en los cuerpos de mineral de baja calidad

El paso siguiente es el de secar el mineral. En todas las etapas del proceso de beneficio es importante minimizar la abrasión y corte de las fibras.

Estructura de la Industria

Los dos mayores productores de asbestos son la Comunidad de Estados Independientes CEI, y Canadá los cuales poseen grandes reservas de crisotilo, pero debido a los pocos datos que se conocen de la CEI, ésta posiblemente tiene mayores reservas. En el resto del mundo, las reservas aparecen distribuidas de manera uniforme en los países actualmente productores y en aquellos en los que se conocen depósitos potenciales.

La producción canadiense, proviene en gran parte de la región de Quebec y el resto del norte de Columbia Británica, Ungova, Terranova y Ontario. La producción de la CEI se obtiene del distrito de Bazhenovo en los Urales centrales, del área de Dzhetysay en el noroeste de Kazajstán, Kimbay, en la parte sur de los Urales y de Akdovarak, cerca al Río Yenesei, al Oeste del lago Bakal.

La producción de fibras, incluyendo tanto el crisotilo como los asbestos anfíbolos, fue incrementándose uniformemente hasta alcanzar un máximo en 1978, a partir de la cual ha venido declinando. La CEI tomó el liderazgo de la producción desde mediados de la década de los sesenta. Sin embargo, autoridades en la materia consideran que esta tendencia está alterada, por la inclusión de una mayor proporción de grados de fibra

muy corta que no se recuperan actualmente en Canadá.

La producción rusa de crisotilo de fibra corta y media se concentra en la zona central de los Urales, donde el gran "Complejo de Asbest", junto con las pequeñas minas y molinos de Alapajevsk, Nizhnitagil, Kiyembay y del Sur de Sverdlosk, produce cerca de 1,5 millones de toneladas anuales de fibra.

La primera etapa del complejo de "Tuvaasbest" en AK-Dovurak entró en operación en 1966. Desde entonces ha seguido en proceso de expansión, hasta alcanzar una producción de 500.000 toneladas de fibra por año.

La producción canadiense ha venido incrementándose uniformemente durante los últimos 20 años. Esta tendencia se debe a la mayor capacidad de algunas plantas y a la apertura de nuevas minas, como Advocate, Reeves, Clifton Creek, y Asbestos Hill.

La zona de "Eastern Townships of Quebec", productora de asbesto durante los últimos 100 años, y Ungava producen 1,4 millones de toneladas de fibra por año. Esto representa aproximadamente el 89% de la producción canadiense; el resto proviene de la Columbia Británica (7,8%) y de Terranova (3,2%), (MANN, 1983). La mina Jeffrey, es la mayor productora individual, aproximadamente 600.000 toneladas de fibra por año. El resto de la producción, unas 750.000 toneladas de fibra por año, proviene de minas localizadas en los alrededores de las Minas Thetford.

Africa ocupa el tercer lugar en la producción mundial. Su producción incluye 430.000 toneladas de crisotilo provenientes de Zimbabwe, la República de Suráfrica y de Swazilandia, así como 207.000 toneladas de crocidolita y 64.000 toneladas de amosita producidas en Suráfrica. Como resultado de la expansión en Shabani, la producción de Zimbabwe se ha incrementado notablemente.

La producción europea muestra ligeras fluctuaciones durante los últimos 15 años. La mayoría de las minas son relativamente pequeñas. Italia es el principal productor europeo, con 146.000 toneladas de fibra por año, la mayoría de las cuales proviene de Balangero. En Francia, la producción se ha interrumpido con el cierre de las minas de asbesto de Córcega.

Estados Unidos se sitúa en el octavo lugar de la producción mundial con 103.000 toneladas en 1978 y una cantidad similar en 1979. La mayoría de esta producción proviene de Vermont y California, con una pequeña cantidad de crisotilo proveniente de dolomitas, extraídas en Arizona.

Los otros países presentan poco cambio en la producción global. Sólo Brasil lo ha mostrado colocándose en el séptimo lugar, debido a la puesta en marcha de la mina de Caña Brava, en Uruacú, al Norte de Brasilia.

Australia ocupa el noveno lugar en la producción, la mayoría de la cual proviene del depósito de Woodsreef, cerca a Barraba, en Nueva Gales del Sur.

La producción de amosita y de crocidolita proviene totalmente de la República de Suráfrica. La mayor parte de la crocidolita proviene de minas pequeñas en los distritos de Prieska, Griquatown y Kuruman, en la zona de "Northern Cape"; también se produce algo en el distrito de Pietersburg, en el Noreste de Transvaal.

Asbestos anfibólicos diferentes a la crocidolita y a la amosita tienen una producción comparativamente baja. Dentro de estos, la antofilita predomina con cantidades limitadas de tremolita e insignificantes de actinolita fibrosa. De los depósitos conoci-

dos de antofilita, los de Finlandia produjeron unas 15.000 toneladas en 1971, en los cuatro años siguientes la producción disminuyó progresivamente, hasta el cierre de las minas a mediados de la década de los setenta. A pesar de que no se tienen detalles de los depósitos y que no se conocen estadísticas, se sabe que en Yugoslavia, Bulgaria, Brasil, Japón e India hay alguna producción de asbestos anfibólicos.

Se produce una pequeña cantidad de tremolita de fibra larga en pequeños depósitos localizados en los distritos Sondrio y Aosta, Norte de Italia. La

tabla 3, relaciona la producción de asbestos por países en el período comprendido entre 1977 y 1992.

En los años 80's, el mayor productor mundial de asbesto continuó siendo Rusia con una producción promedio anual de 4,2 millones de toneladas, seguido por Canadá con 750.000 toneladas anuales y Estados Unidos que produjeron en el mismo período un promedio de 48.000 toneladas anuales. Debido a las exigencias ambientales adelantadas por la Environment Protection Agency, la producción de asbestos en USA, disminuyó en un 70 %, aproximadamente en los años 88 y 89. Así mismo, a nivel mundial a

Tabla 3
PRODUCCION APROXIMADA DE ASBESTO POR PAISES
(En miles de toneladas)

PAIS	1977	1978	1979	1980	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1991	1992
USA	101,4	102,5	98,1	97,0	64	70	57	57	51	51	18	17	w	w
Canadá	1663,4	1571,9	1654,6	1410,9	822	830	922	742	640	660	705	710	687	620
Suráfrica	419,1	284,4	274,5	295,4	212	220	170	165	140	135	145	150	149	140
Rusia	2899,0	268,6	2524,3	264,5	2330	2300	2471	2548	3051	2551	2750	w	w	w
China	275,6	275,6	275,6	275,6	w	w	w	w	w	w	w	160	150	150
Zimbabwe	300,9	274,5	286,6	289,9	w	w	w	w	w	w	w	190	161	160
Italia	165,3	154,3	148,8	134,5	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Brasil	102,5	135,6	152,1	139,8	w	w	w	w	w	w	w	230	210	210
Australia	56,2	69,4	87,1	91,5	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Swaziland	49,6	40,8	37,5	37,5	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Chipre	40,8	37,5	39,7	44,1	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Corea	6,6	15,4	16,5	15,4	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Afganistán	15,4	15,4	4,4	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Yugoslavia	9,9	11,0	11,0	11,0	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Turquía	12,1	14,3	11,0	11,0	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Japón	7,7	6,6	4,4	4,4	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
India	5,5	6,6	6,6	6,6	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
Taiwan	3,3	2,2	3,3	2,4	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
OTROS					770	780	718	559	640	657	740	268	2133	2120
TOTAL	6135,3	5707,6	5636,2	5532,5	4200	4200	4338	4111	4358	4054	4522	4325	3490	3400

e: Estimada

w: Desconocida

1977 - 1980 Fuente: Industrial Minerals and Rocks. 5th edition. Volumen I.P.

1982 - 1988 Fuente: Compilación del Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989. Unisted States.

1989 - 1992 Fuente: Compilación del Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries, 1990, 1992, 1993. Unisted States Departament of Interior.

partir de 1989 la producción total presenta una tendencia decreciente.

Características del Mercado

Las propiedades primarias por las cuales se evalúa la calidad de los asbestos y de las cuales dependen sus aplicaciones industriales son: (1) flexibilidad, (2) longitud de la fibra, (3) resistencia a la tensión, (4) reacción química, (5) resistencia al calor, (6) conductividad eléctrica y (7) características de filtración (Badollet, 1951).

El empleo de un asbesto depende de sus propiedades, en gran parte determinadas por la longitud de la fibra. Las fibras de mayor longitud tienen un mejor precio en el mercado y mayor rango de aplicaciones industriales.

Según los usos, el asbesto se clasifica en hilable y no hilable, el primero se obtiene a partir de fibras largas de crisotilo y crocidolita, las cuales se usan en tejidos de guantes, chaquetas, cintas, cordones, empaquetaduras, bandas de frenos y aislantes. De un kilogramo de crisolito hilable, se pueden obtener 20 mil metros de hilo. En tanto que los asbestos no hilables son todas aquellas fibras cortas, incluyendo la amosita, de los cuales se obtienen las láminas y aislamientos. La tremolita y antofilita se usan en filtros químicos y en recubrimientos de varillas de soldadura.

El crisotilo, tanto por la longitud de fibra como por sus propiedades físicas y químicas, es el asbesto de mayor valor y el más comercial, son fibras finas, sedosas y fuertes que resisten temperaturas hasta de 2.700°C.

La crocidolita de Suráfrica se conoce también como asbesto azul, de una fibra larga, hilable, áspera y flexible de bajo punto de fusión y alta resistencia a los ácidos.

Las fibras crudas de crocidolita deben ser cuidadosamente procesadas para producir fibras largas que pueden usarse en textiles, empaques, hilos o en láminas junto con resinas.

Las fibras crudas de amosita, luego de reprocesadas, dan una fibra larga y esponjosa que se usa en carpetas aislantes o en productos que deban ser buenos aislantes pero de baja densidad. La amosita se puede tejer, pero con dificultad.

Las fibras procesadas se clasifican en cinco grupos (grupos de 3 a 7) según su longitud; las del grupo tres son las más largas y las del grupo siete son las más cortas.

Para los otros grupos, las fibras procesadas tienen multitud de aplicaciones entre otras en papel, tuberías, placas, láminas, y tejas, envolturas, paneles eléctricos y bandas para frenos.

Las fibras de mediana y corta longitud (grupo 5, 6 y 7), tienen aplicación también en materiales para empastar, asfaltos y como relleno para numerosos productos. La selección de las fibras para una aplicación en particular, depende del método de procesamiento y de las propiedades requeridas del producto terminado.

Cerca del 70% de la producción mundial se utiliza en la fabricación de

productos de asbesto-cemento, para entechados, madera de fibra comprimida, láminas planas y corrugadas y tuberías; debido a las restricciones ambientales en los últimos años y al continuo afán por usar sustitutos, la tasa de crecimiento tiende a disminuir.

Estados Unidos, Europa Occidental y Japón han sido los países de mayor demanda para el asbesto. En años recientes, algunos países en desarrollo han sido un factor importante en la tasa de consumo del asbesto.

Canadá y la CEI conjuntamente suministran el 77% de la producción mundial. Canadá, a su vez, continúa como el mayor exportador de asbestos (Minerals Yearbook, 1989). El consumo mundial estimado es de 6 millones de toneladas.

El mercado mundial de asbesto está constituido por la variedad crisotilo en un 90-95%. La CEI es el principal productor. En la actualidad hay sobrantes de producción y las grandes minas están trabajando apenas al 50% de su capacidad, esto ha hecho que la oferta sea grande y los precios hayan descendido rápidamente.

Canadá continúa siendo el mayor exportador de fibra cruda y productos manufacturados, seguida por Japón, México, Brasil y el Reino Unido (Minerals Yearbook, 1989).

El 100% del mercado en Estados Unidos durante 1992, fue abastecido por dos empresas, una de California y la otra de Vermont. El consumo local se

Tabla 4
ESTADÍSTICAS DEL MERCADO DE ASBESTO EN ESTADOS UNIDOS
(miles de toneladas)

	1988	1989	1990	1991	1992 e
Producción	18	17	w	w	w
Importación	85	55	41	35	32
Exportación	32	27	28	26	24
Consumo	71	55	41	35	32
Existencias	6	7	5	w	w

e: Estimada

w: No conocida

Fuente: Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries, United States Department of Interior - 1993.

discrimina así: Productos para materiales de techo el 44%, productos de antifricción 28%, tubos de asbesto cemento 11%, empaques y empaquetaduras 8% y otros el 9%. La tabla 4 presenta las estadísticas sobre el mercado en USA, en los últimos 5 años.

El origen de las importaciones en el mercado de los Estados Unidos para el período 1988-1991 fue: Canadá un 96%, Suráfrica un 3% y de otros países un 1%. En tanto, la producción local aumentó hasta 1991, y las importaciones y exportaciones, decrecieron en 9% y 8%, respectivamente. El consumo aparente disminuyó 9%. El 98% del asbesto consumido fue crisotilo. La administración de salud como consecuencia del Acta del 8 de junio de 1992, excluyó del mercado las variedades de actinolita, antofilita y tremolita de los asbestos estandares.

NIVEL NACIONAL

La única ocurrencia de asbestos de importancia económica en Colombia se encuentra relacionada con el complejo ultramáfico de Cam-

pamento sobre la Cordillera Central y está localizada 40 km al Este de la Falla Romeral y 120 km al Norte de Medellín, en el Municipio de Campamento, Departamento de Antioquia (Figura 2).

Aspectos Geológico-Mineros

El asbesto de Campamento ha sido explotado por la Empresa Minera Las Brisas desde finales de 1980, con una producción anual promedio de 10.000 toneladas de asbesto Grados 4 y 6; sin embargo, alteraciones del orden público en mayo de 1992 originaron su cierre temporal hasta la fecha.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

La ocurrencia de crisotilo asociado a rocas ultramáficas serpentinizadas facilita la selección de las áreas propicias para su búsqueda. En Colombia, los cuerpos de serpentinita se encuentran, en su mayor parte, asociados al sistema de fallas Cauca-Romeral que marca el límite geológico entre las cordilleras Central y Occidental.

El yacimiento de asbesto - Las Brisas localizado en Campamento es el único en Colombia, y se caracteriza por que contiene fibra de buena calidad. La mayor proporción de ésta corresponde a los grados más valiosos (4 y 6). El depósito está constituido primordialmente por crisotilo.

La producción se realiza sobre las zonas que la Empresa Las Brisas denominó como bloque R y parte del bloque F. En dichas áreas a medida que se profundiza disminuye el tenor.

Aunque la mayor parte de las minas de asbesto producen fibras de los grados 4,5,6 y 7 (Quebec Standard Grade) ninguna de ellas sería rentable sin un porcentaje alto de fibra larga (grados 4,5). En la mina Las Brisas para el bloque R, del total de fibra recuperable, el 60% se puede mezclar para obtener un 4T y 40% para un 5T. El promedio en peso, cae entre un 4Z y un 5D (Harris, 1973).

RESERVAS

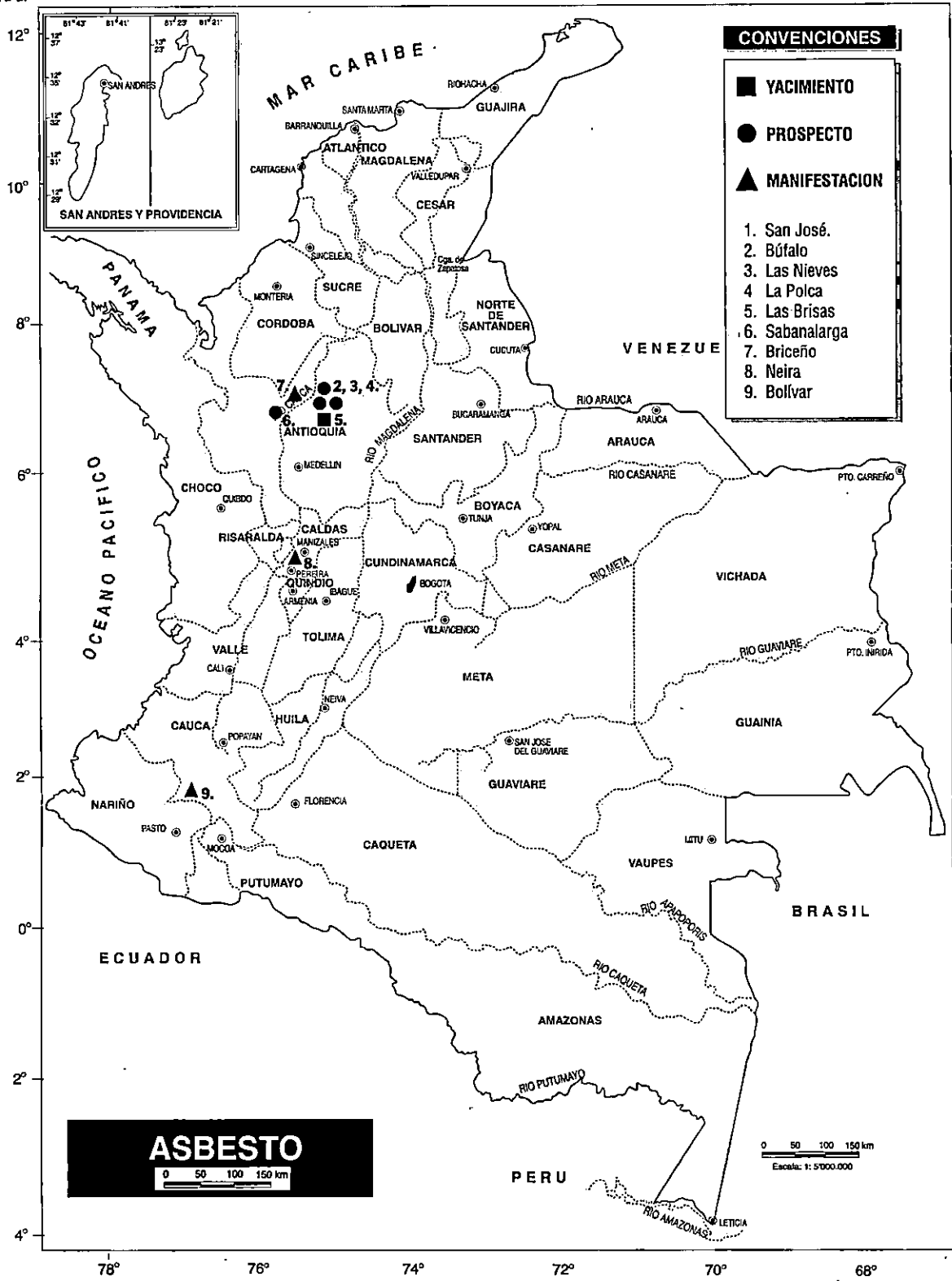
Las reservas, según información suministrada por la gerencia de la Empresa Minera Las Brisas en 1985, se discriminan en la tabla 5.

Prospectos Mineros: Como se ilustra en la figura 2, en Colombia se conocen varias manifestaciones de asbesto pero sólo las relacionadas al cuerpo de Las Brisas, en el Departamento de Antioquia, han sido estudiadas en detalle.

Prospectos de crisotilo se encuentran, al Noreste de Yarumal, en las Nieves y el Búfalo; las características mineralógicas son similares a las del

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA ASBESTO

Figura 2.



cuerpo de las Brisas pero tanto el contenido de fibra como su calidad son menores. El cuerpo de la Polca (Hall et al, 1970) se encuentra sobre el mismo cuerpo de serpentinita de las Brisas y puede considerarse como una prolongación de este.

Otros prospectos se encuentran 8 km al Este de Sabanalarga y 2 km al Norte de Briceño. El primero aunque pequeño, tiene fibra de regular calidad mientras que el segundo contiene sólo picrolita desarrollada superficialmente a lo largo de planos de cizalladura en dunita serpentinizada.

TIPOS DE MINERIA

Antes del cierre en mayo de 1992, la explotación del cuerpo de Las Brisas se hacía a cielo abierto y la empresa contaba con la infraestructura necesaria tanto para la producción como para el beneficio y comercialización de la fibra.

Teniendo en cuenta las reservas (Tabla 5), y la capacidad máxima de la planta, la mina tendría una vida útil de 30 años. El material explotado es seleccionado con el fin de remover el estéril y escoger fragmentos con venas de asbesto largo. El material recibe una primera trituration mediante la cual se reduce hasta máximo 11 cms, y luego una trituration secundaria para obtener tamaños hasta de 2,5 cms.

Posterior a la reducción se hace la concentración y el secado. La extracción y separación de la fibra de la ganga, se logra por etapas sucesivas de molienda y desintegración por impacto.

Tabla 5
RESERVAS DE ASBESTO EN EL DEPOSITO DE LAS BRISAS
(miles de toneladas)

RESERVAS	TONELADAS MINERAL	TENOR (%)	TONELADAS DE FIBRA
1. Indicadas	4005.000	5,5	219.400
2. Indicadas probables	2'405.000	5,0	120.300
sub-total		5,3	339.700
3. Mineral marginal	737.500	2,5	18.400
4. Marginal probable	1'252.500	2,5	31.300
Sub-total	1'990.000	2,5	49.700
TOTAL RESERVAS	8'397.500	4,6	389.500

Fuente: Gerencia de la Empresa Minera Las Brisas-1992.

La fibra se recupera por succión con aire; la roca que queda como residuo pasa a la siguiente etapa de trituration por impacto o eventualmente a los desechos. En tanto que las fracciones más finas se tamizan para evitar que se aspire polvo con la succión.

La purificación de la fibra a partir de los concentrados que contienen arena y polvo se obtiene mediante una serie de procesos para las cuales se usan tamices, zarandas y separadores de gravedad específica.

En la planta de clasificación, la fibra se separa según las distintas calidades requeridas mediante procesos de tamizado.

Estructura de la Industria

La Empresa Minera las Brisas inició la explotación en 1982, con una capacidad de producción anual de 6.000 toneladas, en 1983 se amplió a 10.000 toneladas de asbestos grado 4 y 6.

El 90% del consumo nacional se desti-

na a la industria de asbesto-cemento donde se han implementado los mayores proyectos de investigación en busca de los sustitutos para el asbesto. De todas formas cuando la empresa se encuentra en producción de asbesto, existe una franja del mercado que no cubre y que podría representar un 20% de su capacidad instalada.

En el país se consumen todos los tipos de fibra y de la explotación de Las Brisas se podrían obtener si no todas, por lo menos la mayoría de ellas. Sin embargo, la cantidad y calidad de algunas son reducidas; por otra parte, no todas tienen demanda directa. Por las razones anteriores la compañía produce los tipos medianos de fibra (4T y 6D) que son los que se ajustan a los requerimientos de la industria nacional de asbesto-cemento y automotriz. La tabla 6, relaciona la producción nacional de asbesto desde que la Empresa Minera Las Brisas inicio actividades.

La producción presentada corresponde a dos grados de asbesto; grado

Tabla 6
PRODUCCION DE ASBESTO EN COLOMBIA
 (Toneladas de fibra grado 4 y 6)

AÑO	TONELADAS
1982	5.040
1983	7.148
1984	10.412
1985	11.533
1986	11.765
1987	12.175
1988	10.477
1989	10.950
1990	9.721
1991	7.825

Fuente: Gerencia de la Empresa Minera las Brisas, 1992.

4 con valor técnico de 70 puntos y grado 6 con 60 puntos. Es importante agregar que desde 1983 la capacidad de producción de la planta es de 10.000 t/año, sin embargo esta meta fue superada debido a la explotación de zonas con tenores mayores que el valor medio.

A partir de 1982 cuando se inició por parte de La Empresa Minera Las Brisas S.A., la producción de asbesto en el Municipio de Campamento, la situación del asbesto en Colombia ha variado fundamentalmente, pasando de importar el 100% del material necesario para la industria nacional a un 50% (proveniente principalmente de Canadá) que se importó hasta mayo de 1992, fecha de cierre de la empresa.

Según el DANE en 1992, los fabricantes de asbesto-cemento y de otros productos industriales, están importando aproximadamente 12.000 t/año, lo que correspondería al déficit existente al comparar la producción de Minera Las Brisas con el consumo nacional, para la época. De otro la-

do, bajo las condiciones actuales, el país está importando el 100 % de sus necesidades en asbesto.

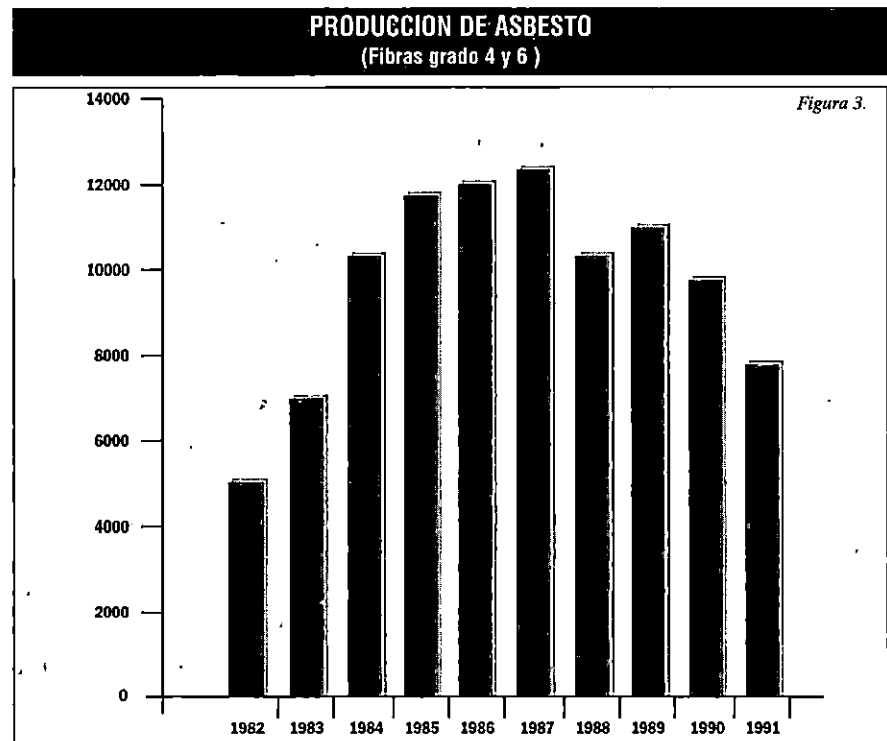
Aunque el mercado nacional es un mercado interesante y hasta su cierre la Empresa Minera Las Brisas suplía un 50%, ésta empresa no proyectaba ampliar su capacidad de producción, a corto o mediano plazo, dada la situación de incertidumbre que ha generado el cierre de varias minas en el Canadá y la situación política en la antigua Unión Soviética. Además, la situación de orden público a nivel nacional y especialmente en el área de la mina ha creado un ambiente desfavorable para la inversión. La reducción del consumo internacional, el debate en torno a los efectos cancerígenos del asbesto y la posibilidad de una sustitución del mismo, al menos parcial por otras fibras, son factores de riesgo a los cuales las condiciones

del mercado nacional no puede ser ajeno, tendencia que se muestra en la figura 3, en la cual la producción nacional presenta a partir de 1987 un marcado descenso en cuanto a oferta. El 90% del consumo nacional está en la industria de asbesto-cemento donde se han implementado los mayores proyectos de investigación en busca de sustitutos.

La producción nacional de asbesto se muestra en la tabla 7.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAIS

Las perspectivas de desarrollo de la Industria extractiva de asbesto en Colombia son inciertas, debido entre otros factores a las condiciones de or-



Fuente: Gerencia de la Empresa, 1992.

Tabla 7
PRODUCCION NACIONAL DE MINERAL ASBESTO

	1989	1990	1991	1992
Volumen (Toneladas)	158.149	159.600	164.825	170.221
Valor (Millones de pesos)	500,0	576,0	672,1	937,04

Fuente: Boletín Minero - Energético, 1993.

den público, al fomento del uso de sustitutos y a consideraciones ambientales que actualmente se aplican en otros países.

NIVEL MINERO

El país, a corto y mediano plazo, y a la luz de las condiciones reinantes de orden público seguirá dependiendo de las importaciones.

En cuanto a los prospecto referidos de escaso potencial, similares al depósito de Campamento, en el momento actual, no se justifica que se adelanten investigaciones tendientes a definir sus posibilidades económicas.

NIVEL INDUSTRIAL

Previendo las restricciones futuras de carácter ambiental, la industria nacional debe investigar sobre modelos que permitan la implementación de sustitutos para artículos fabricados con asbestos, mediante transferencia de tecnologías desarrolladas en países industrializados.

La futura expansión de la producción de asbesto estará directamente relacionada a las normas que el Ministerio del Medio Ambiente establezca sobre la utilización de productos de asbesto-cemento para conducción de aguas y para tejas, ya que más del 90% de la producción de este mineral

se destina para la industria de la construcción. En caso de establecerse una normatividad tan rígida como la ya existente en algunos países industrializados, esta industria no justifica inversiones de mayor cuantía. Adicionalmente debe tenerse en cuenta que estas medidas crean un exceso de oferta que disminuyen los precios del asbesto y por lo tanto desestimulan la inversión tanto para la ampliación de la planta de beneficio y de la infraestructura minera en Las Brisas como, mucho más obvio, en la evaluación de otros prospectos mineros.

RECOMENDACIONES

- Los prospectos mineros relacionados no representan una alternativa económica para el desarrollo nacional de la industria del asbesto.
- Numerosos materiales se usan como sustitutos del asbesto, entre ellos están: silicato de calcio, fibra de carbón, fibra de celulosa, fibra cerámica, fibra de vidrio, fibra de acero, wollastonita y fibras orgánicas como las de polipropileno y de politetrafluoroetileno. Asimismo algunos minerales no fibrosos son considerados como posibles sustitutos del asbesto, sin embargo, no existe un sustituto tan versátil y con

bajo costo que remplace totalmente al asbesto.

- La publicidad adversa, de los posibles efectos negativos producidos por el asbesto sobre la salud, ha influido para que se disminuya su demanda, como el interés de inversionistas en su industria extractiva. La creación de la International Fibre Safety Group (IFSG) constituido por productores y consumidores trata de contrarrestar los efectos negativos que sobre el asbesto se ha producido en los últimos años.
- Mejorando las condiciones de orden público de la otrora zona de explotación en Campamento, se podría reiniciar el proceso de producción para aprovechar el recurso mineral ya evaluado y la infraestructura minera existente, permitiéndole al país ahorrar divisas por importaciones de asbesto.
- Mediante una evaluación técnica, económica y social se debe analizar la posibilidad para que la Empresa Minera Las Brisas transfiera el derecho de explotación de tal manera que, por un lado el costo social se equilibre y la industria nacional no dependa exclusivamente de las importaciones.
- Se recomienda fomentar y estimular la investigación relacionada con la sustitución de artículos manufacturados a partir de asbesto, condicionados a una fácil adaptación al mercado nacional.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Composición Química de los Asbesto.
TABLA 2. Reservas Mundiales de Asbesto.
TABLA 3. Producción Aproximada de Asbesto por Países.
TABLA 4. Estadísticas del Mercado de Asbesto en Estados Unidos.
TABLA 5. Reservas de Asbesto en el Depósito de Las Brisas.
TABLA 6. Producción de Asbesto en Colombia.
TABLA 7. Producción Nacional de Mineral Asbesto.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Depósitos de Asbesto en el Mundo.
FIGURA 2. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Asbesto.
FIGURA 3. Producción de Asbestos.

BIBLIOGRAFIA

ASBESTO, 1981. Monthly periodical. P.O. Box, 471. William M. Grave, P.A. 19090.

ASBESTO, 1951a. Mineral of Unparalleled Properties. Canadian Inst. Min. and Metall. Trans. vol. 54 151-160.

BADOLLET, M.S. 1948. Asbestos. Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 2 Interscience 134 - 142 New York.

BATES, R. I. Metamorphic minerals - Asbestos. The geology of Industrial Rocks and Minerals. DOVER. PUBL: 317 - 328. N.Y.

BERGER, H. 1963. Asbestos Fundamentals. Chemical Publ. Co., 171p. N.Y.

BUREAU OF MINES. Mineral Commodity Summaries, 1975 - 1993. United States Department of Interior.

CÓOKE, H.C. 1937. Thetford, Disroeli and Eastern Half of Marwick Map Areas, Quebec. Memoir 211 Geol. Surv. of Canadá: 86- 140.

ETAYO, F. et al., 1992. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia Publ. Geol. Esp. del INGEOMINAS 14: 1-235. Bogotá.
DANE. 1992. Banco de Datos. Santafé de Bogotá.

GONZALEZ, H. 1992. Asbestos. INGEOMINAS. Informe Interno. Medellín.

HALL, R., FEININGER, T., RICO, H., ALVAREZ, J. 1970. Recursos Minerales de Parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas Inst. Nal. de Inv. Geol. Min Bol Geol., 18 (3): 1-90. Bogotá.

HARRIS, H.I., 1973. How Nicolet proved and evaluated Colombian asbestos deposit. Word Mining, v.26, no.13.

Ministerio de Minas y Energía. Boletín Minero - Energético. 1993. Santafé de Bogotá.

STANLEY, J.L., Industrial Minerals and Rocks. 5th edition. Volumen I.P. 435-484.

VIRTA, ROBERT L., 1989. Asbestos. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

ROCA FOSFORICA

Hernando Mendoza I. ⁽¹⁾
MINERALCO S.A. ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El fósforo (P), el potasio (K) y el nitrógeno (N) constituyen los componentes primordiales de la vida animal y vegetal. Se denomina roca fosfórica a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito-francolita. Sedimentos o rocas que contienen entre 1 y 10% (volumétrica-mente) de granos individuales de fosfato mezclados con otros componentes minerales, reciben el calificativo de fosfático.

En un depósito mineral el contenido de fosfato se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5). El término fosforita se refiere a rocas o depósitos marinos con contenidos de fosfato superiores al 20% de P_2O_5 .

La roca fosfórica como fuente de fósforo es explotada en más de 20 países del mundo.

Los depósitos de roca fosfórica más importantes son los de fosforitas sedimentarias, seguidos por los complejos ígneos alcalinos ricos en apatito. Las reservas mundiales se estiman en 11.255 Mt y la reserva base mundial en 34.045 Mt. El 62,6% de la reserva base se encuentra en Marruecos y el Sahara Occidental, el 13% en Estados Unidos, 7,4% en Suráfrica, y 0,3% en Colombia.

En el país los mejores depósitos son de fosforitas marinas de edad Cretácico Superior, localizados en las cordilleras Oriental y parte sur de la Central. Las reservas recuperables se estiman en 14 Mt y la reserva base en 52,5 Mt. Actualmente la producción interna proviene de cuatro empresas mineras con capital privado y mixto.

La mayor parte de los depósitos del mundo se explotan por minería a cielo abierto, sin embargo, son las características físicas del de-

(1) Geólogo MSc., Ingeominas Bucaramanga.

(2) Minerales de Colombia S.A.

pósito las que determinan el método de minería a seguir. Los depósitos de Marruecos, Egipto, Túnez y Colombia (excepto Sardinata) se desarrollan por minería subterránea, aplicando los métodos de cámaras y pilares y los de tajo largo.

Estructura de la Industria

El valor de un depósito de fosforita depende muchas veces de la cantidad y características de otros minerales presentes (cuarzo, feldespato, carbonato, sílice) y del grado de dificultad para la separación del fosfato.

Colombia no dispone de depósitos de aceptable calidad, ni en las cantidades necesarias como para desarrollar un complejo importante de fertilizantes a partir de la producción de ácido fosfórico. La factibilidad se limita a proyectos de baja y mediana escala con una industria de roca de aplicación directa y roca parcialmente acidulada.

El 85% de la producción mundial de roca fosfórica se usa para fabricar fertilizantes, el 15% restante se destina a la industria química. Para obtener fertilizantes fosfatados a partir de roca fosfórica, ésta debe acidularse con un ácido fuerte, normalmente el ácido sulfúrico. Comercialmente se clasifica la roca fosfórica según el contenido de fosfato calcio-hueso (BP₂) en porcentaje que no debe ser inferior a 60%.

Las fosforitas colombianas (Huila y Boyacá) aciduladas a un 50% han mostrado buenos resultados como

fuentes de fósforo en una amplia variedad de cultivos y en la mayor parte de las regiones agrícolas del país. Su competitividad con el superfosfato triple (TSP) depende del precio internacional de este, precio interno del ácido y distancia a los sitios de consumo.

Característica del Mercado

Se estima que en 1992 la demanda mundial de roca fosfórica disminuyó en más de 10 Mt, un decrecimiento de 6% con respecto a 1991. Estados Unidos que continúa como gran exportador (más del 60% de la roca fosfórica que produce) y a pesar de tener un gran mercado interno en fertilizantes, y contar con importantes reservas de roca fosfórica, también se ha visto afectado en la producción, demanda y comercialización. A consecuencia del aumento registrado en 1994 en el consumo de fertilizantes, la demanda de roca fosfórica alcanzó 130 Mtm, un incremento de 7% respecto a 1993.

La producción mundial de roca fosfórica en 1992, alcanzó 150 Mt, y fue el cuarto año consecutivo en que la producción disminuyó. Se aducen como causas: disminución en el consumo mundial de fertilizantes fosfatados y a los cambios político y económicos en Europa oriental y la antigua Unión Soviética. Estados Unidos importa roca fosfórica de alto grado para producir ácido fosfórico de alta pureza.

Para 1994 se estima una producción de 124 Mtm, cifra que es inferior al consumo.

En 1992 varias compañías americanas registraron precios de venta por debajo de los costos de producción.

Colombia importa en su totalidad (principalmente de Venezuela) los productos fosfatados para los detergentes y otras industrias químicas. Actualmente el país consume cerca de 30.000 t de roca fosfórica y se estima que 100.000 t de roca con 20% P₂O₅ se podían utilizar (más de 20.000 t de P₂O₅).

La capacidad actual de producción del país es de 90.000 t de P₂O₅/año, apenas suficiente para satisfacer las necesidades internas que en 1990 se situaron en 116.000 t de P₂O₅. Los cultivos de papa, café, caña de azúcar y arroz son los mayores consumidores de fósforo (70% del total). El suministro de fósforo netamente nacional, está representado en 40.000 t de roca fosfórica (20-33% P₂O₅) y cerca de 60.000 t/año de escoria básica que produce Acerías Paz del Río (10% P₂O₅).

Las empresas FOSFACOL, FOSFONORTE Y FOSFOBOYACA explotan roca fosfórica y cuentan con plantas de beneficio. Parte de la materia prima la venden a pequeños productores, quienes se encargan de procesar (mezclan, granulan y licúan) los fertilizantes.

A nivel interno los precios de venta en 1993 para la roca de aplicación directa estuvieron en el rango de \$33.000 a \$51.000/t (precio en planta) según la empresa productora. La roca parcialmente acidulada se vendió a \$72.000/t y a los clientes antiguos, la

roca de uso industrial, se les vendió a \$38.500/t.

Proyecciones

El mercado mundial de la roca fosfórica atraviesa por una situación relativamente crítica; se cree que en los próximos 5-10 años no registrará un crecimiento significativo y que posiblemente la demanda de roca fosfórica no aumentará sensiblemente.

En Colombia la demanda total proyectada para 1995 se calcula en 140.300 t de P_2O_5 y sólo el 15% será cubierto con producción nacional. Si se quiere reducir la diferencia (51.200 t de P_2O_5) entre la demanda y oferta proyectadas al año 2000, es necesario promocionar el uso de la roca fosfórica en forma directa o soluble y tener un mejor conocimiento de los depósitos que están cerca a los centros de consumo. Es más remota la probabilidad de utilizar roca fosfórica nacional para elaborar productos fosfatados para las industrias químicas y de alimentos.

Perspectivas de Desarrollo en el País

El país presenta amplia dispersión del recurso fosfático, sin embargo sus reservas y calidades no son favorables para el desarrollo de proyectos a mediana escala. La localización de los depósitos en zonas montañosas, donde la deformación y fallamiento de los materiales es frecuente, es una situación desfavorable para la presencia de bloques que contengan su-

ficientes reservas y puedan ser explotados por minería a cielo abierto.

Por tanto, la naturaleza de los depósitos y su distribución geográfica, favorecen las explotaciones a niveles de pequeña minería, permite el abastecimiento de los mercados regionales y contribuye a la desconcentración de los mercados.

Al país le conviene emprender una revaluación detallada (tamaño, calidad y vida útil) de los depósitos de roca conocidos y particularmente una exploración sistemática en las rocas sedimentarias del Paleógeno y Neógeno de la costa Atlántica y la Guajira.

A nivel industrial, es necesario promover el montaje de pequeñas plantas para elaborar roca fosfórica parcialmente acidulada o superfosfato simple, lo cual contribuiría a reducir las importaciones de fosfato diamonio (DPA) y superfosfato triple (TSP) y además, al aprovechamiento de los depósitos de roca fosfórica evaluados.

Con la escoria de Cerro Matoso, sería conveniente investigar la factibilidad de usarla como materia prima, bien sea para producir fertilizantes magnesianos o para ser mezclada con roca fosfórica y producir termofosfatos.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

El fósforo (P) es el principal elemento constitutivo de los fosfatos y se encuentra ampliamente dis-

tribuido en la naturaleza, en forma de compuestos inorgánicos minerales y biológicos. Conjuntamente con el potasio (K) y el nitrógeno (N) constituyen los componentes primordiales de la vida animal y vegetal.

El término fosfato mineral designa de manera poco precisa una amplia variedad de compuestos químicos, grupos de minerales, tipos de roca que se diferencian en su origen, naturaleza y modo de presentación. Se usa el término fosfático para sedimentos o rocas que contienen más de 1% y menos de 10% (volumétricamente) de granos individuales de fosfato mezclados con otros componentes minerales. Cuando la roca o sedimento contiene 10% o más de granos individuales de fosfato, o cuando se refiere a depósitos marinos con rocas que contienen fosfato en cantidad mayor del 20% de (P_2O_5) se usa fosforita. Usualmente el contenido de fosfato o grado del fosfato mineral en un yacimiento se representa como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5). En los depósitos comerciales el contenido varía entre 10 o más de 25% de (P_2O_5). El contenido de fosfato, también puede expresarse en forma de fosfato tricálcico ($Ca_3(PO_4)_2$), tradicionalmente designado como fosfato de cal de huesos (BLP). En general, se usa roca fosfórica para describir conjuntos de minerales que naturalmente presentan alta concentración de minerales fosfatados, normalmente de la serie apatito-francolita.

Los principales componentes de las fosforitas son minerales fosfáticos del grupo del apatito, cuarzo, feldespa-

tos, óxidos de hierro, arcillas y micas. En algunos casos la calcita y la dolomita pueden estar en cantidades significativas.

El apatito de las fosforitas sedimentarias se encuentra en varias formas petrográficas, siendo las más frecuentes los gránulos o pellets. Los más comunes son: gránulos fósiles que son fragmentos de fósiles redondeados (**huesos, dientes, conchas**) y completamente fosfatizados; gránulos oolíticos que son láminas más o menos concéntricas de fosfato sin o con núcleo (cuarzo, feldespato, fósil); nódulos de forma ovoide redondeada y sin estructura; gránulos múltiples total o parcialmente fosfatizados y envueltos en una lámina externa de fosfato. Los de tipo nódulo son los más comunes y en los cuales la estructura original ha desaparecido por la fosfatización.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

Los depósitos ricos en fósforo son abundantes en el mundo, pero sólo aquellos que son recuperables económicamente, son de importancia comercial. En rocas ígneas el fósforo se encuentra en forma de apatito, generalmente como fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) y en rocas sedimentarias en forma de hidroxi-fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH},\text{F}$) o como carboxi-fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4\text{CO}_3\text{OH})_3\text{F}$).

Mundialmente se reconocen dos tipos principales de depósitos de roca fosfórica: depósitos de fosforitas sedimentarias y los complejos ígneos alcalinos ricos en apatito. Los principa-

les recursos y depósitos de roca fosfórica tanto en Estados Unidos como en el mundo, se encuentran en fosforitas marinas, presentes en rocas sedimentarias con edades que van desde el Precámbrico al Cenozoico (Holoceno). Estos depósitos parece se formaron en cuencas localizadas en climas cálidos y áreas con corrientes de aguas ascendentes. Otros depósitos de menor importancia son las fosforitas a partir de guano.

Los depósitos tipo sedimentario granular están constituidos por fosfatos secundarios acumulados a partir de gránulos de fosforitas retrabajados. Los gránulos son de diferente tamaño, generalmente redondeados y aparecen estratificados en capas o láminas mezclados con granos detríticos de otros minerales (cuarzo, calcita, sílice, dolomita). Usualmente los gránulos de fosfato contienen granos detríticos en su interior y el fosfato se encuentra en la matriz junto con cantidades variables de materiales calcáreos, arcillas, pirita y a veces glauconita. La roca fresca es de color oscuro, dura y cuando está meteorizada es clara, liviana y blanda.

Los depósitos de guano se forman en la superficie por acumulación de los desechos (heces) de aves marinas y en las cuevas por actividad fisiológica de murciélagos y aves nocturnas. En general son depósitos pequeños, caracterizados por una mineralogía compleja.

Las fosforitas y sedimentos fosfáticos deben su complejidad a que son el producto de la intermezcla de la sedimentación de fosfato, carbonato, y

terrígenos; incluyendo glauconita, sedimentos silíceos (chert, diatomita) y materia orgánica. Los depósitos de Sechura (Perú) se diferencian de otros grandes depósitos marinos por estar constituidos principalmente de fosfato y diatomita y los pellets ser compuestos de un carbonato de hidroxilapatito deficiente en flúor.

Los depósitos ígneos se presentan como masas intrusivas, mantos o vetas hidrotermales, usualmente asociados a rocas ígneas alcalinas, tales como carbonatita, ijolita, sienita nefelínica y piroxenita. Los depósitos más grandes están en el complejo de sienita nefelínica en la península de Kola, antigua Unión Soviética; en Palabora, Suráfrica; en Araxa y Jacupiranga, Brasil y otros en Finlandia y Suecia. En algunos casos se presenta apatito ígneo asociado a depósitos de ilmenita y magnetita. Las menas ígneas usualmente son duras, de bajo grado en el yacimiento pero, relativamente puras, lo que las hace apropiadas para el proceso de flotación en el cual la mena puede concentrarse por un factor de 4 o 5. Los concentrados con más alto grado de fosfato y los más bajos niveles de impureza en la roca, se presentan en menas ígneas, por lo cual son muy apetecidas para uso con fines industriales.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Los investigadores han utilizado diferentes términos y clasificaciones cuando presentan estimativos sobre reservas y recursos de roca fosfórica en el mundo. Para obviar los proble-

Tabla 1
RESERVAS Y RESERVA BASE DE ROCA FOSFORICA EN EL MUNDO
(Toneladas netas x 1000)

	NUMERO DE DEPOSITOS	RESERVAS ¹	RESERVA BASE ²
Norteamérica			
Estados Unidos	108	1.400	5.400
Canadá	1	—	40
México	2	—	120
TOTAL	111	1.400	5.560
Suramérica			
Brasil	9	40	350
Colombia	1	—	100
Perú	1	—	140
Venezuela	1	—	10
TOTAL	12	40	600
Europa			
Antig. Unión Soviética	11	1.300	1.300
Finlandia	2	—	110
Turquía	1	—	30
TOTAL	14	1.300	1.440
África			
Marruecos	11	6.900	20.000
Senegal	2	130	130
Túnez	7	60	120
Egipto	5	—	790
Sahara Occidental	1	850	850
Argelia	1	—	250
Suráfrica.	1	2.600	2.600
Togo	1	50	50
TOTAL	29	10.590	24.790
Asia			
China	6	210	210
Israel	3	20	90
Jordania	3	120	510
Siria	2	—	180
TOTAL	14	350	990
Oceanía			
Australia	4	—	500
Nauru	1	10	10
TOTAL	5	10	520
TOTAL MUNDIAL (APROXIMADO)	185	13.690	33.900

1= Costos a menos de US\$ 35/tonelada métrica. El costo incluye capital, gastos operacionales, impuestos, costos varios y 15% tasa interna de retorno. Costos y recursos a enero de 1983 FOB mina.

2= Costos a menos de US\$ 100/tonelada métrica. Costos definidos como en 1.

Fuente: Mineral Facts and Problems 1985 Edition.

mas de lenguaje y definiciones, el Bureau of Mines y el Servicio Geológico de los Estados Unidos prepararon la Circular 882 "Sedimentary Phosphate Resource Classification System of the Bureau of Mines and the USGS" que contiene los criterios para la clasificación de los recursos de fosfatos.

Con base en costos (dólares) para recuperar roca fosfórica, el Bureau of Mines realizó un estimativo de las reservas y reserva base para 84 depósitos localizados en los países que aparecen en la tabla 1.

Con costos y recursos a enero de 1989 FOB mina el US Bureau of Mines da el siguiente estimativo de reservas y reserva base mundial: número de depósitos: 195, reservas 12.585 Mtm. Reserva base: 34.275 Mtm. Nota: la reserva base estimada a un costo menor de US\$100/tonelada. Fuente: Minerals Yearbook, 1989.

Considerando costos de producción por debajo US\$40/tonelada, Crowson (1992) da un total de 12.585 Mt de reservas mundiales de las cuales, 4.210 Mt corresponden a países desarrollados; 6.598 Mt a países en desarrollo y 1.777 Mt a países de economía centralizada (China, antigua URSS y otros). En la tabla 2 aparece la reserva base mundial, utilizando costos de producción por debajo de US\$100/tonelada. La tabla 3 registra las reservas y reserva base de roca fosfórica de Estados Unidos. De los depósitos que atraen la atención de los potenciales inversionistas del mundo se pueden citar: el depósito de Eppewala en Srilanka y el de Abu Tartur en Egipto,

Tabla 2
RESERVA BASE DE ROCA FOSFORICA EN EL MUNDO
 (Millones de toneladas y % del total)

Marruecos y Sahara W.	21.440	62,6	Australia	590	1,7
Estados Unidos	4.440	13,0	Jordania	480	1,4
Suráfrica	2.530	7,4	Brasil	370	1,1
Antigua Unión Soviética	1.330	3,9	Perú	310	0,9
Egipto	760	2,2	Colombia	100	0,3
			Otros	2375	
TOTAL		34.045			

Se tomaron costos de producción por debajo de US\$ 100/toneladas

Fuente: Modificada de Crowson, 1992, EEMJ Marzo 1995.

Tabla 3
RESERVAS Y RESERVA BASE
DE ROCA FOSFORICA EN ESTADOS UNIDOS
 (Millones de toneladas métricas)

ESTADO	RESERVAS ¹	RESERVA BASE ²
Florida	750	2.540
Carolina del Norte	390	1.090
Idaho	90	160
Utah		730
Wyoming		210
Tennessee		16
Montana	1	1
TOTAL	1.231	4.747

1- Reservas de Roca Fosfórica a un costo menor de US\$ 40/tonelada métrica. FOB Mina. Costos incluyen: Capital, Gastos Operacionales, Impuestos, Costos Varios y 15% Tasa Interna de Retorno. Costos y Recursos a Enero de 1992 FOB Mina.

2- Reserva Base a Costos como los definidos en 1, y Costo menor de US\$ 100/tonelada métrica FOB Mina.

Fuente: E&MJ, Marzo de 1993.

sin embargo en la última década las inversiones en todos los sectores de la industria de los fosfatos ha sido mínima debido a los bajos precios internacionales (Mew, 1993).

Los recursos mundiales son inmensos y se siguen descubriendo nuevos depósitos sobre la plataforma continental.

TIPOS DE MINERIA.

Normalmente son las características físicas del depósito las que determinan el sistema de minería a seguir. La naturaleza de muchos depósitos de fosfato es tal que un estimativo de sus reservas no puede realizarse sin que se haya efectuado una prospección sistemática y detallada a fin de determinar la profundidad de la cubierta de estéril, el espesor de la matriz, la cantidad de producto por unidad de área y el grado del producto. (Matriz: zona o capa de mena con fosfato).

La mayor parte de los depósitos de fosforita se explotan por minería a cielo

abierto; una de las pocas minas subterráneas es la mina de Montana en Estados Unidos. En las minas de Carolina del Norte y La Florida, la cubierta de estéril se remueve con dragas hidráulicas y para limpiar parte de la cubierta y extraer 40 pies de material matriz, se utilizan dragalinas con capacidad de 45 a 72 yardas cúbicas.

Cuando se trabaja con dragalinas de 50 m³, se puede extraer 100.000 toneladas por día, el ancho del corte varía entre 70 y 90 m y la longitud del mismo depende del relieve topográfico y del sistema de transporte del material. La dragalina coloca los estériles en terrenos adyacentes al pit, mientras que la matriz extraída es colocada en excavaciones hechas en la superficie, desde donde es removida por medio de monitores de agua a presión y luego bombeada varios kilómetros hasta la planta lavadora. Marruecos, Egipto y Túnez, son países que desarrollan y explotan sus depósitos por minería subterránea, empleando los métodos de cámaras y pilares y los de tajo largo. En la comunidad de Estados Independientes CEI, la península de Kola posee minas a cielo abierto y subterráneas.

Estructura de la Industria

El material en bruto para producción de fertilizantes fosfatados es la roca fosfórica, que en su gran mayoría es insoluble en agua y como tal no es asimilable por las plantas. Todas las plantas requieren para su crecimiento una proporción balanceada de los tres principales nutrientes, el fósforo, el potasio y el nitrógeno.

MATERIA PRIMA

Los depósitos sedimentarios de fosforita son menas blandas, de grado relativamente alto y usualmente su calidad es mejorada por procesos de lavado, clasificación, calcinación y a veces flotación. La roca fosfórica ígnea es muy dura, está libre de materia orgánica y presenta baja reactividad, por lo que debe someterse a molienda fina antes de ser sometida a otro proceso.

El valor de un depósito de fosforita depende muchas veces de la cantidad y características de otros minerales presentes (cuarzo, carbonatos, feldespatos, sílice) y del grado de dificultad para ser separados del fosfato. El mineral antes de ser utilizado en procesos de elaboración de fertilizantes o de productos fosfatados para la industria química, debe ser sometido a procesos de beneficio (concentración y homogenización).

Otros factores a considerar en la viabilidad económica de un depósito son: el grado de dureza o compactación de la matriz, el tamaño de las partículas del fosfato, clase de material cementante, grado de concentración de mineral y los aspectos económicos como: localización del depósito, situación del mercado interno y externo, el costo de explotación y beneficio, la calidad y grado de concentración del producto beneficiado y las restricciones ambientales.

La roca fosfórica puede ser sometida a tres tipos de beneficio por vía húmeda y uno por calcinación directa. Las variaciones en el tipo de ma-

terial fosfatado determinan el tipo de tratamiento. Diferencias en el tipo y dureza de la matriz, la forma, aspecto y tamaño medio del aglomerado de gránulos, el contenido de carbono orgánico, la naturaleza del estéril (ganga) determinan no sólo el tipo de tratamiento sino también las características de los productos.

Productos con presencia de elementos como Cd, Pb, Hg, Co, Se y Cl aún en cantidades «trazas» pueden ser perjudiciales al ser humano, a las plantas, los animales y no apropiados para uso industrial. El flúor produce los ácidos fluorhídrico y fluorsilícico, que se volatilizan durante la acidulación y producen contaminación ambiental.

La razón para conocer la petrología de los granos de fosfato se aprecia más claramente al considerar la importancia económica: no es lo mismo referirse al contenido de (P_2O_5) para un grano individual de fosfato o volumen de muestra representativa de un concentrado de granos de fosfato (grado del concentrado), que considerar el contenido de (P_2O_5) de todo el sedimento o roca que se encuentra en la sección estratigráfica (grado del material en el yacimiento).

Aproximadamente el 85% de la producción mundial de roca fosfórica es destinada a la fabricación de fertilizantes (incluyendo roca fosfórica para aplicación directa), el 15% restante se usa en la industria química (elaboración de detergentes, insecticidas, pinturas, jabones, textiles, ablandamiento de aguas, dentífricos, curtiembres, vidrio, licores, refinación de azúcares) y en nutrición humana y ani-

mal (alimentos concentrados para animales).

La importancia del fósforo como fertilizante está asociada al crecimiento de las plantas, en la formación de grasas, generación de las células, la transformación de harinas en azúcares, formación de la semilla y en general los procesos vitales de las plantas. Para cultivos se estima un consumo potencial de 68 a 86 kg de (P_2O_5) por hectárea cultivada.

La roca fosfórica como tal, no es considerada como fertilizante, pues su fósforo no es de inmediata asimilación. Sin embargo, en ocasiones surte efectos positivos cuando se aplica en forma directa al suelo; dependiendo de la clase de suelo, del tipo de cultivo y de la reactividad o solubilidad (facilidad con que el fósforo es convertido en el suelo a su forma asimilable).

Para obtener fertilizantes fosfatados (fósforo soluble) a partir de la roca fosfórica, se utiliza el proceso químico (acidulación) que es más importante que el proceso térmico. Cualquier ácido fuerte (sulfúrico, nítrico, fosfórico) puede ser usado para acidular la roca fosfórica. El ácido sulfúrico es el más aconsejable desde el punto de vista económico y agrícola.

Los fertilizantes que se obtienen por acidulación son:

- Superfosfato simple o normal con 16 a 20% de (P_2O_5) y 45% de sulfato de calcio (yeso); es la fuente de fósforo (como fertilizante) más común y abundante. Se utiliza poco debido al bajo contenido de (P_2O_5).

- Superfosfato triple con 46-48% (P_2O_5), es un producto concentrado, higroscópico, resultado de acidular roca fosfórica molida con ácido fosfórico. Se produce en forma granular o como polvo.
- Fosfato diamonio con 40-42% (P_2O_5), subproducto de la producción de ácido fosfórico por vía húmeda. El ácido fosfórico (40-42% P_2O_5) es parcialmente neutralizado con amoníaco anhidro. El producto contiene dos fertilizantes: fósforo y nitrógeno. Cuando se le agrega cloruro o sulfato de potasio se obtiene un fertilizante completo: NPK.
- Termofosfatos, se producen por transformación de la roca fosfórica por procesos térmicos.
- Fosfato tricálcico fundido, se produce calcinando la roca fosfórica en hornos, el fosfato fundido se granula bajo chorros de agua a alta velocidad. Recomendable para suelos ácidos.
- Fósforo elemental, se obtiene usando coque y agregando arena (cuarzo) para formar wollastonita (silicato de calcio) la que es separada en forma de escoria fundida.
- Roca fosfórica molida (aplicación directa). La asimilación del fósforo por las plantas depende de la finura de la molienda, las características de la roca, propiedades del suelo, clima y tipo de cultivo. En suelos ácidos tropicales, resulta competitiva frente a productos comerciales más solubles, ya que la presencia de hierro y aluminio bloquea el fósforo

foro y reduce la eficacia de fertilizantes de alta solubilidad. Los suelos arcillosos requieren aplicaciones más abundantes de fosforita más fina y una mejor mezcla con el suelo (arado). Los suelos arenosos necesitan aplicaciones menos abundantes de fosforita más gruesa y aplicación al «voleo». Parece que no es conveniente el uso simultáneo o inmediato de cal agrícola en suelos donde se aplique roca fosfórica molida, ya que la cal eleva el pH del suelo, retardando la solubilización del fósforo.

Los análisis químicos de la roca fosfórica se reportan como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5) o como fosfato tricálcico ($Ca_3(PO_4)_2$). En el comercio la roca fosfórica se clasifica según su contenido de fosfato calcio-hueso (BPL) en porcentaje. (1% BPL equivale a 0,458% P_2O_5). Los siguientes son los grados más comerciales: 77-75%; 75-73%; 72-70%; 70-68%; 68-66%; 66-64%; y menor de 64% BPL. La calidad y el precio de la roca se afectan por el contenido de óxido de hierro y alúmina. La roca fosfórica grado comercial debe contener como mínimo 60% BPL y un concentrado de fosfato comercial se encuentra en un rango de 60-86% BPL, con un promedio de 73% BPL.

Por consenso el contenido de fósforo de los fertilizantes se expresa en porcentaje de (P_2O_5). Por ejemplo, el superfosfato corriente tiene cerca de 20% (P_2O_5); el superfosfato triple cerca de 46% (P_2O_5).

La elaboración de fertilizantes fosfatados produce emanaciones gaseosas

que afectan el medio ambiente, por ejemplo el dióxido y trióxido de azufre provenientes de las plantas de (H_2SO_4) al elaborar ácido fosfórico. Gases de flúor se producen en la acidulación de la roca fosfórica, o producción de roca parcialmente acidulada, y en la elaboración de superfosfatos. Los concentrados de fosfato contienen de 3-4% de flúor, pero por pérdidas en minería y procesos de concentración de la mena fosfatada y procesada para fertilizante, sólo se recupera un 75%.

El fósforo utilizado en la industria química proviene del ácido fosfórico elaborado por vía húmeda y del fósforo elemental. Los compuestos fosfatados son utilizados en detergentes, jabones, pinturas, textiles, alimentos, licores, dentífricos y en concentrados de alimento animal.

Característica del Mercado

DEMANDA

Se estima que en 1992 la demanda de roca fosfórica en el mundo, disminuyó en más de 10 Mt, una baja superior al 6% respecto a 1991. El consumo de roca fosfórica ha disminuído desde finales de los años ochenta, debido a altos volúmenes en existencias (stocks) en las principales regiones consumidoras del mundo: Norteamérica y Europa Occidental y recientemente la drástica disminución de demanda por parte de Europa Oriental. En Europa Occidental la demanda de roca fosfórica, pasó del nivel más alto (23 Mt) en 1980 hasta bajar a 12,1 Mt en 1992. El uso de fertilizantes fos-

fatados también ha disminuido ya que muchos países prefieren importar productos de fosfato procesado (Mew, 1993).

Marruecos, el mayor exportador mundial de roca fosfórica ha incrementado en los últimos años la capacidad para convertir roca fosfórica en productos químicos. En 1989, la decisión del gobierno de la India de no negociar ácido fosfórico de Marruecos para producir fosfato de amonio (DAP) y en cambio negociar (DAP) de otros abastecedores, fue la causa para que en Estados Unidos se presentara gran demanda de exportación de roca fosfórica y fertilizantes fosfatados. En 1990, se restableció la negociación entre los dos países y se resolvió el problema del precio del ácido fosfórico.

La industria de los fosfatos en Estados Unidos, a pesar de tener un enorme mercado interno para fertilizantes y haber desarrollado su industria con base en las reservas minerales de Florida, Carolina del Norte y los Estados occidentales, también se ha visto afectada en su producción, demanda y comercialización. En el período 1987-1989 compañías importantes abandonaron el negocio del fosfato: Beker Chemical; WR Grace; Amax; US Steel y Williams Co. En abril de 1992, la Mobil Co. anunció que continuaba con el desarrollo de la mina South Fort Meade, con reservas superiores a 90 Mt de producto recuperable, y explotará inicialmente a una tasa de 3,5 Mt/año. La poca demanda de roca fosfórica en 1992, llevó al Gobierno Ruso a

suspender la producción de fosfatos de la península de Kola.

El modelo de distribución de la demanda de roca fosfórica en Estados Unidos en 1990 fue el siguiente: como fertilizante 50% del total exportado; como fertilizante local 46% y otras exportaciones 4%. En cuanto al patrón de uso final el 77% se convirtió en ácido fosfórico; el 16% fue exportado; el 4% utilizado para producir fósforo elemental y 3% para producir superfosfato. (Stowasser, 1991). Para 1992 Estados Unidos aún exportaba más del 60% de la roca fosfórica que producía, ya fuera como roca, como ácido o como fertilizante. La CEI que en los años ochenta exportaba entre 3,2 y 3,8 Mt/año, en 1992 sólo exportó cerca de 1,2 Mt. Por otra parte

Tabla 4
PRODUCCION MUNDIAL DE ROCA FOSFORICA, PERIODO 1987-1994
(Miles de toneladas métricas)

	1987	1988p	1989e	1990	1991	1992	1993	1994e
Estados Unidos	40.954	45.389	48.886	46.041	48.096	46.171	35.138	40.700
Unión Soviética/CEI	34.100	34.400	34.400	35.082	29.994	21.411	14.441	13.731
Marruecos	20.995	24.783	17.988	21.189	17.988	19.447	18.193	19.700
China	12.150	16.000	17.000	15.500	17.627	17.956	19.000	18.585
Túnez	6.390	6.103	6.621	6.566	6.401	6.400	5.500	5.600
Jordania	6.800	5.666	6.675	5.925	4.433	4.296	4.129	3.900
Israel	3.798	3.479	3.992	3.516	3.370	3.595	3.680	3.930
Suráfrica	2.623	2.850	2.963	3.086	3.175	3.051	2.496	2.540
Brasil	4.777	4.672	3.655	2.968	3.210	3.450	3.419	3.700
Senegal	1.874	2.296	2.273	2.289	1.741	2.301	1.710	1.730
Togo	2.644	3.464	3.356	2.314	2.965	2.083	1.794	2.050
México	689	655	657	636	596	350	237	450
Venezuela	—	—	—	183	250	220	—	—
Colombia	34	35	30	37	30	35	—	—
Perú	61	13	13	30	30	35	—	—
TOTAL MUNDIAL	144.231	160.375	162.268	153.206	146.433	137.589	116.070	123.626

-Sin información / p= preliminar e= estimado

Fuente: Adaptada de International Fertilizer Association (E&M, March 1995) Metals and Minerals Annual Review 1993 and Minerals Yearbook 1988;1989.

Estados Unidos, importa roca fosfórica de alto grado, con pocas impurezas, para producir por el proceso húmedo, ácido fosfórico de alta pureza.

Según Crowson (1992) la demanda mundial de roca fosfórica en 1990 alcanzó a 157,28 Mt, distribuida en la siguiente forma: Comunidad Europea 13,72 Mt; Japón 1,49 Mt; Estados Unidos 41,73 Mt; resto de países occidentales 42,06 Mt; y otros países 58,27 Mt.

OFERTA

La producción mundial de roca fosfórica en 1992 fue estimada en 150 Mt, un incremento de 8,6% respecto a 1991. Ha sido el segundo año consecutivo en el que sube la producción, situación que contrasta con la producción mundial máxima (163 Mt) alcanzada en 1988. Del total de producción en 1992, el 76% fue aportado por cuatro principales productores: Estados Unidos, la antigua

Unión Soviética, Marruecos y China. Durante los últimos cinco años la industria del fosfato en Estados Unidos se ha mantenido relativamente estable, con una producción mínima de 45 Mt en 1988 a un máximo de 49,8 Mt en 1989. En la tabla 4 se registra la producción mundial de roca fosfórica para el período 1987-1994. La baja en la producción está directamente relacionada con la disminución en el consumo mundial de fertilizantes fosfatados. En el pasado, el consumo de fertilizantes, seguía el índice de crecimiento de la población mundial. La figura 1 ilustra gráficamente la variación de la producción mundial en el período 1979-1991.

En reciente encuesta a productores norteamericanos sobre planes de producción de roca fosfórica, se encuentra, que después del año 2000, cinco compañías estarán trabajando diez minas en la Florida; una compañía operará una mina en Carolina del Norte; otras cinco manejarán cinco minas en Idaho y una última com-

pañía operará dos minas, una en Montana y otra en Utah (Stowasser, 1993).

La baja producción por cuarto año consecutivo se ha interpretado como resultado directo de los cambios políticos y económicos en Europa Oriental y la antigua Unión Soviética. También, es resultado de la disminución en el uso de fertilizantes y en los subsidios a los cultivos tanto en Estados Unidos como en Europa occidental. En los países en desarrollo, la demanda tiende a ser satisfecha con la importación de productos fertilizantes terminados, más que con material bruto de producción local.

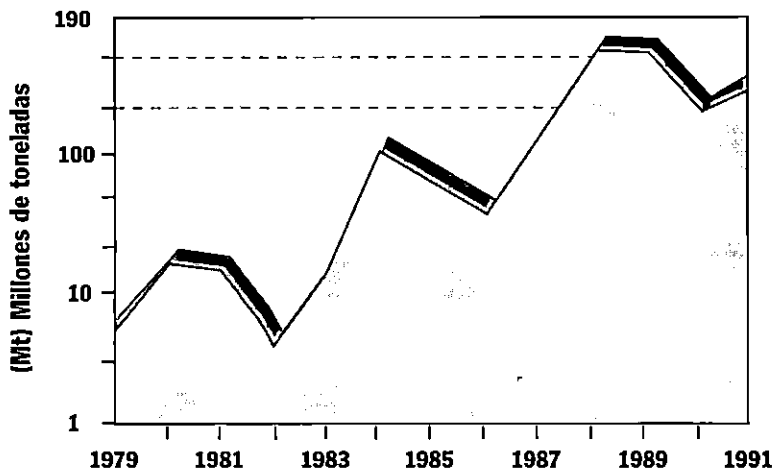
Los productos fosfatados (roca de bajo grado, guano y escorias básicas) que producen algunos países, normalmente son de uso local y no se consideran en las estadísticas de producción. Cerca del 95%, de la roca fosfórica producida en Estados Unidos se utilizó en las plantas de ácido fosfórico, que a su vez es usado para producir el fosfato diamonio (DAP) principal producto terminado de fosfato.

En Florida, la Mobile Mining & Minerals Co. cerró la mina Nichols; Occidental Chemical Co. cerró la mina Suwannee River y Mulberry Phosphates Inc. cerró la mina Wingate Creek. ICM fertilizer Inc. compró Conserve Inc. para contribuir a la consolidación de la industria.

A finales de 1992, ocho compañías operaban en la Florida y en los estados occidentales de Idaho, Montana y Utah, cuatro compañías operaban cinco minas.

VARIACION DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE ROCA FOSFORICA (PERIODO 1979 - 1991)

Figura 1.



Fuente: Minerals Handbook 1992 - 93 (Crowson, 1992)

Tabla 5
PRECIOS DEL FOSFATO EN ESTADOS UNIDOS Y MARRUECOS

USA: Valor promedio FOB mina, todos los grados, consumo externo
y exportación US\$/tonelada

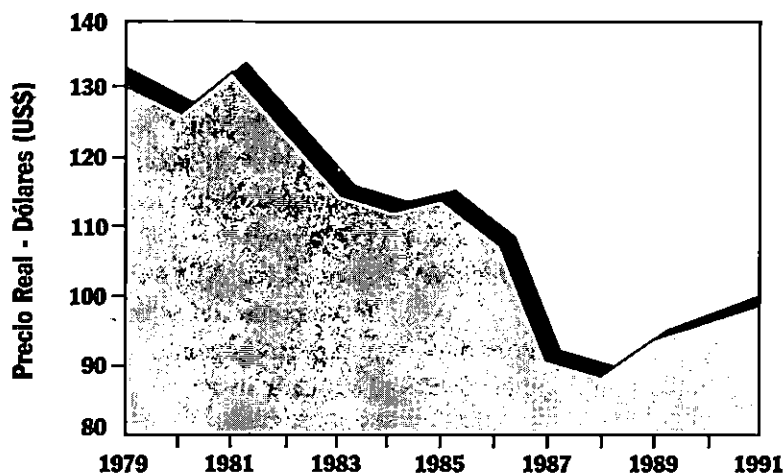
1986	1987	1988	1989	1990	1991
22,25	19,37	19,56	21,76	23,20	23,9
Marruecos: 75-77% BPL f.a.s. Casablanca \$/ tonelada					
48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5

NOTA: El precio en Marruecos es sólo nominal.

Fuente: Minerals Handbook 1992-1993 (Crowson, 1992)

PRECIOS REALES PARA LA ROCA FOSFORICA
(PERIODO 1979 - 1991, VALOR MEDIO EN BOCA DE MINA)

Figura 2.



Fuente: Minerals Handbook 1992-1993 (Crowson, 1992)

PRECIOS

Las exportaciones de (DAP) en Estados Unidos se constituyeron en el principal factor de soporte para la industria del fosfato en 1991, alcanzando 10 Mt valoradas en US\$1,7 billones. El volumen exportado y valor para el (DAP) en 1992 no se pudo obtener, pero se esperaba fuera mucho más bajo que el de 1991. El valor unitario del (DAP) bajó de un valor promedio de US\$133/t en 1991 a menos de US\$115/t en 1992. (Stowa-

sser, 1993). En general los precios se establecen sobre contratos base dependiendo de la calidad y grado. Los contratos de fertilizantes fosfatados normalmente son de corta duración, mientras el ácido fosfórico se negocia en contratos anuales con precios a seis meses. Normalmente los precios en Estados Unidos, son mucho más bajos que los negociados en los mercados de exportación. En 1990, por ejemplo los precios internos estuvieron en US\$21,9/t FOB versus

US\$30,66/t FOB para exportación. En la tabla 5 se presentan los precios para los fosfatos de Estados Unidos y de Marruecos, en el período 1986-1991.

La figura 2 registra la variación del precio real en dólares (US\$) para roca fosfórica boca de mina, período 1979-1991.

A diferencia de otros materiales industriales, para determinar el valor y aceptación de un producto de roca fosfórica, además de la concentración, también hay que considerar la calidad o el efecto que otros constituyentes químicos de la roca pueden tener sobre el proceso de beneficio. Las menas de fosforita son blandas, presentan un alto grado y normalmente son enriquecidas por lavado, clasificación por tamaño y a veces flotación.

Tan compleja es la interacción de los constituyentes químicos que la conveniencia de un producto roca, realmente solo puede determinarse por ensayos a escala planta piloto. El hecho que cada concentrado de roca sea único en su caracterización química, es el motivo para que la roca fosfórica se venda por contratos a largo plazo (generalmente un año).

Varias de las compañías americanas registraron en 1992 precios de venta por debajo de los costos de producción, situación atribuida a: sobrecapacidad instalada, superproducción, poca demanda interna y baja exportación.

Para 1993 se esperaba que la relación oferta-demanda persistiría, ocasionando más cierres de plantas o una fusión comercial de las mismas.

PROYECCIONES

La situación de la roca fosfórica es crítica y aunque se espera aumento en la capacidad instalada para atender el auge de la demanda de fertilizantes, se cree que el mercado de roca fosfórica no registrará un incremento significativo en los próximos 5-10 años.

En cuanto a la industria del fosfato, en Estados Unidos se atraviesa por un ciclo recesivo, aunque la demanda y precios posiblemente mejorarán. En otras palabras, no es tan prioritario estar pendientes de la disponibilidad en el futuro y del suministro interno de roca fosfórica.

Sería el sector agrícola que anualmente evaluaría tal disponibilidad. La demanda de roca fosfórica en Estados Unidos y a nivel mundial no disminuirá.

Para la siguiente década, el uso de fosfato debería aumentar, especialmente en Asia, lo que dará ventaja a productores como Jordania y Suráfrica, localizados en mejor posición geográfica para servir al continente asiático.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

En el marco de la internacionalización de la economía y apertura económica, los acuerdos comerciales

suscritos entre los gobiernos de Colombia y algunos países latinoamericanos, es importante considerar la situación actual de la roca fosfórica en Venezuela, Ecuador y Perú.

Venezuela. Los depósitos de roca fosfórica están asociados a sedimentos de origen marino de edad cretácica superior y terciario. El principal yacimiento (Riecito) de edad terciaria con reservas de 40 millones de toneladas explotables a cielo abierto, ha venido abasteciendo parcialmente una planta de ácido fosfórico que es la base de un complejo de fertilizantes compuestos, localizado en Puerto Morón (Instituto Venezolano de Petroquímica) con una capacidad de producción de 130.000 toneladas de P_2O_5 /año destinadas en un gran porcentaje a la elaboración de fertilizantes.

Otros yacimientos de roca fosfórica de edad cretácica, se encuentran localizados en los Estados de Táchira y Mérida, los espesores son reducidos, presentan un alto contenido de carbonato de calcio y su explotación es por minería subterránea. A comienzos de la década de los setenta se estableció una planta procesadora de roca fosfórica en el Estado de Táchira (Lobatera) para aplicación directa, sin embargo su existencia fue corta, especialmente por problemas de tipo estructural en el yacimiento. En la presente década, se han incrementado las campañas para evaluar estos yacimientos.

Venezuela posee igualmente, plantas para elaborar productos fosfatados para la alimentación animal y para

la industria de detergentes; parte de la producción de esta última está dedicada a la exportación.

Hacia el futuro, salvo la actividad exploratoria que se efectúa en los yacimientos localizados en la cordillera andina, no existen proyectos de expansión en la industria de los fosfatos.

Ecuador. El Ecuador no posee industria de productos fosfatados y para su abastecimiento depende de los mercados externos. Los yacimientos o prospectos de roca fosfórica hasta ahora reconocidos, se encuentran en la Zona Andina y son de edad cretácica. Se mencionan depósitos con espesores y volúmenes reducidos, de grado medio a bajo, y tenores hasta de 25% P_2O_5 .

Perú. El Perú posee el yacimiento de roca fosfórica más importante en Latinoamérica, se localiza al Norte del país, en el desierto de Sechura, posee reservas de alrededor de 600 millones de toneladas y un potencial calculado (reservas y recursos) en 10.000 millones de toneladas.

Desde mediados de la década de los setenta se ha intentado el aprovechamiento masivo de este yacimiento y se proyecta la construcción de un gran complejo de fertilizantes. Esto no ha sido posible debido principalmente, a la situación política y económica del país.

A mediano plazo es posible que se logre el desarrollo de este yacimiento, el cual por su cercanía a Ecuador y Colombia, estaría llamado a ser un abastecedor neto para el área. En la

actualidad la industria de los fertilizantes fosfatados, está limitada a la producción de roca fosfórica para aplicación directa y a la elaboración de roca fosfórica parcialmente acidulada para uso local.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

Los yacimientos y manifestaciones de roca fosfórica conocidos en Colombia, son de edad cretácica superior, se encuentran en formaciones marinas de la Cordillera Oriental y en la parte sur de la Cordillera Central. Los niveles o capas de fosforita están asociados a lutitas, areniscas, calizas y cherts; su espesor varía entre 0,3 y 1,5 m; excepcionalmente hasta 4 m. Las unidades geológicas que contienen los niveles y capas de fosforita más importantes son: formaciones Labor, Tierna, La Luna y Monserrate, con espesor promedio de 1 m y tenores alrededor de 20% P_2O_5 .

Las investigaciones evaluativas realizadas por INGEOMINAS, MINERALCO S.A. y otras entidades del Estado, se enfocaron a los prospectos que presentaban las mejores condiciones en cuanto a espesores, tenores, localización y geología estructural.

Los depósitos y principales prospectos de roca fosfórica en Colombia se muestran en la figura 3. El principal tipo de depósito en el país corresponde a fosforitas marinas; depósitos que en mayor o menor grado han sido objeto de estudios, algunos de ellos dirigidos a la evaluación técnico-económica. Los depósitos más significativos son: Sardinata, Pesca, Isa,

Tesalia y Aipe. De los prospectos interesantes se citan: Baraya, Tibú, Las Mercedes y Conchal-La Azufrada.

Depósito de Sardinata (Norte de Santander). El yacimiento de fosfatos de Sardinata se encuentra 30 kilómetros al Noroeste de la ciudad de Cúcuta, está localizado en la parte septentrional del anticlinal de Aguardiente y hace zona de una secuencia litoestratigráfica que sigue una dirección general E-W y tiene buzamientos entre 5 y 25° al Norte.

El área estudiada (12 km²) corresponde con sectores donde se facilita una explotación a cielo abierto. El detalle de las investigaciones fue amplio y especialmente en el sector occidental del yacimiento, donde se determinó la totalidad de reservas probadas. La capa fosfática de interés económico se encuentra dentro de la Formación La Luna, y es uno de los cinco niveles de fosforita existentes.

La capa presenta heterogeneidad en cuanto al contenido de (P_2O_5) y es posible reconocer tres tipos de fosfatos: meteorizado, no meteorizado y el fosfato del sector de transición entre los dos anteriores. También se presenta una marcada diferencia en la distribución vertical de los tenores de (P_2O_5). La parte superior de la capa contiene los tenores más altos, y hacia el piso disminuyen considerablemente.

Reservas. La cuantificación de reservas se realizó de acuerdo con el grado de meteorización. Mineral meteorizado y de transición, con tenor superior a 23% de (P_2O_5), 2'000.000 de tonela-

das. No meteorizado, con tenor inferior a 17% de (P_2O_5), 7'000.000 de toneladas.

Dentro del material meteorizado se encuentra mineral con alto contenido de (P_2O_5) (33%) en que, mediante lavado y tamizado, se alcanzan concentraciones hasta de 37% de (P_2O_5) y una eliminación sustancial de sílice (SiO_2). El grado de meteorización del fosfato depende del grado de meteorización de la cobertura y del espesor de la misma. El espesor de la capa mineralizada varía entre 0,5 m y 3,0 m con un promedio de 1,1 m.

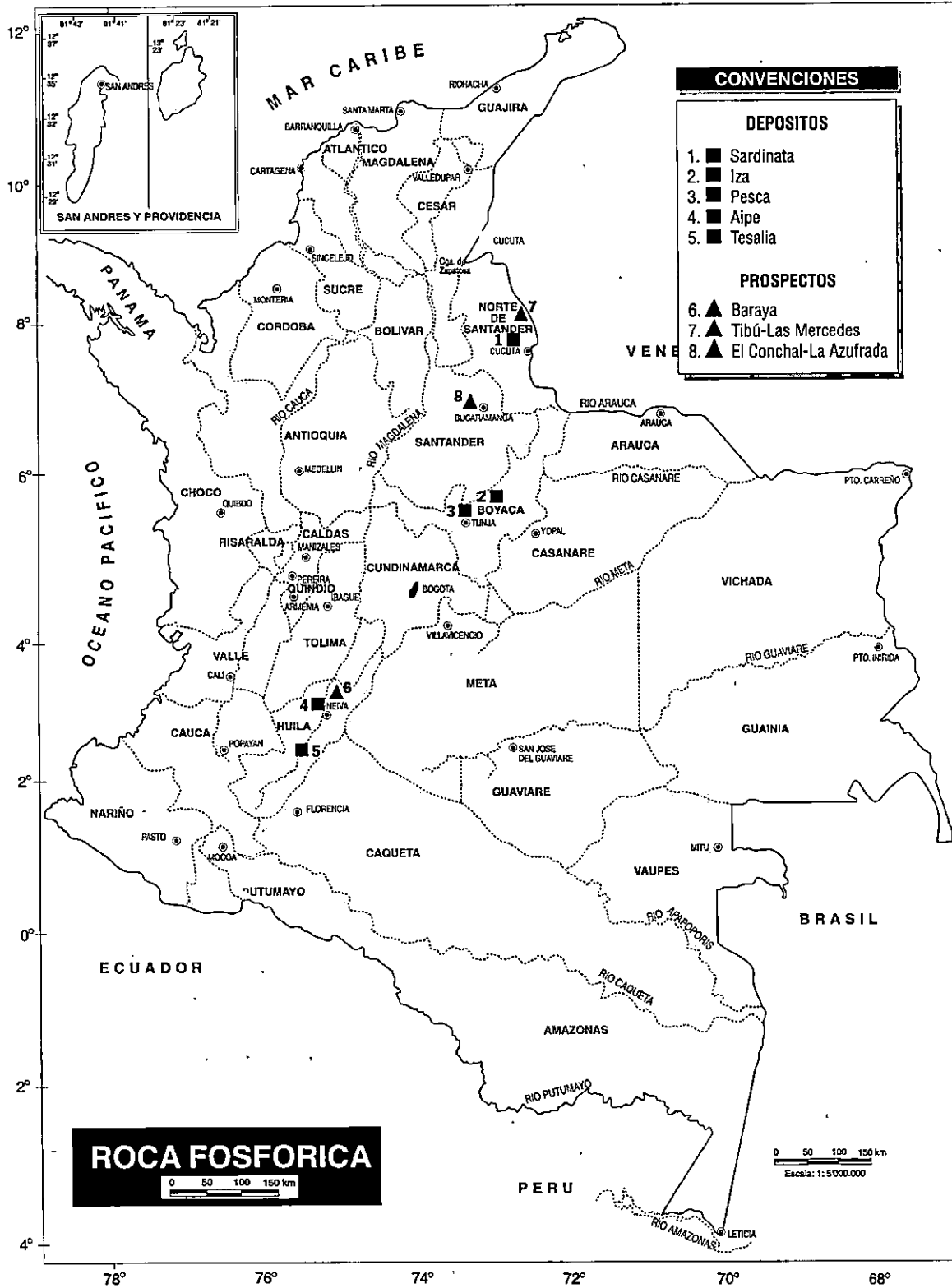
La cobertura del depósito es delgada, lo que permite explotar el mineral a cielo abierto. La roca encajante corresponde a limolitas silíceas (liditas) hasta lodolitas calcáreas y bancos de chert, de tal forma que los contactos son nítidos y bien definidos, facilitando la extracción total de la capa fosfática sin una alta contaminación.

Explotación. En la actualidad el yacimiento es explotado a cielo abierto por la Empresa Fosfatos del Norte de Santander, únicamente en lo que corresponde al mineral alterado y de transición.

Se explotan y benefician aproximadamente 20.000 toneladas/año. El producto con contenido superior a 30% de (P_2O_5) es vendido (10.000 toneladas/año) a las fábricas de fertilizantes de Monómeros y Abocol en la Costa Atlántica. Las colas del beneficio 5.000 a 6.000 toneladas/año se comercializan para su aplicación directa. Se estima que aun puedan ser extraídas cerca del 1,5 Mt en las

LOCALIZACIÓN DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA ROCA FOSFORICA

Figura 3.



calidades de meteorizado y de transición.

Depósito de Pesca (Boyacá). Es el mayor yacimiento de roca fosfórica en el país, se encuentra a 8 km de la población de Pesca y hace parte de una estructura geológica denominada sinclinal de La Conejera, cuyo eje sigue un rumbo general NE a ENE. El flanco oriental está afectado por fallas y las capas muestran inclinaciones entre 25 y 40° al Sureste.

El flanco occidental presenta mejores afloramientos y no se encuentra tan afectado tectónicamente. En el flanco oriental un fallamiento denso y complejo, restringe el área de reservas explotables. Los estudios realizados por MINERALCO S.A. han determinado reservas mucho menores a las estimadas en estudios previos.

Sobre el flanco occidental del sinclinal se delimitó un área para un estudio detallado, en el que se perforaron 45 pozos, con un total de 6.000 m perforados. Se avanzaron 1.500 m de galerías de exploración y se excavaron aproximadamente 2.500 m de trincheras, destapando parcialmente el afloramiento de la capa fosfática en una extensión de 5 km.

Reservas. Se evaluó un sector de 2,4 km² definido al Sur de la Quebrada Grande, allí se han estimado reservas de 16 millones de toneladas en una capa fosfática con un espesor promedio de 2,6 m, un tenor promedio de 20% de P₂O₅ y una relación CaO/P₂O₅ inferior a 1,4. Este sector, una vez delimitado para su explotación cubre una zona de 1,8 km² de extensión y

contiene reservas minables de 11,5 millones de toneladas.

El mineral es susceptible de ser concentrado por flotación, sin embargo su baja recuperación no hace económicamente factible el proceso. De las reservas minables, dependiendo del método de explotación que se seleccione, en el peor de los casos, se alcanzaría una recuperación de 60%, equivalente a 6,9 millones de toneladas.

Al norte de la Quebrada Grande, se continúa el yacimiento y para este sector se ha estimado un potencial de roca fosfórica mayor de 10 millones de toneladas. Los derechos del yacimiento están en cabeza de MINERALCO S.A.

Explotación. Actualmente el yacimiento no es explotado. En la primera mitad de la década de los años ochenta, fue explotado por la empresa Fosfatos Boyacá y por el método de cámaras y pilares se producían cerca de 5.000 toneladas/año.

MINERALCO S.A. mantienen en reserva este depósito para un futuro proyecto de escala importante, teniendo en cuenta que es el yacimiento con la mayor cantidad de reservas y está localizado en un lugar privilegiado para el mercado de fertilizantes fosfatados.

Depósito de Iza (Boyacá). El depósito de Iza se encuentra a 12-14 km. al Norte del depósito de Pesca y hace parte de una estructura sinclinal cuyo eje sigue un rumbo general N-S, siendo cortado por tres importantes fallas transversales. El extremo sur

del sinclinal es el menos afectado por la tectónica.

En el bloque de reservas, la fosforita está expuesta en superficie y ha sido identificada por medio de perforaciones con profundidades hasta de 480 m. La mayoría de las trincheras excavadas en el flanco occidental, muestran una roca con características similares a la de Pesca, es decir, un contenido de (P₂O₅) superior a 20% y una relación CaO/P₂O₅ inferior a 1,4. En cinco pozos perforados en inmediaciones del eje del sinclinal, y hacia el flanco oriental, la roca presenta un alto contenido de calcio, lo que se ha confirmado por análisis químicos y petrográficos.

La capa de fosfato presenta una marcada diferencia en el contenido de (P₂O₅), encontrándose la más baja calidad hacia la base, donde las características son ya de arenisca fosfática.

Reservas. Las reservas más importante se encuentran en el flanco occidental del sinclinal de Iza, allí se estimaron reservas de 21,7 Mt con un contenido promedio de 17,6% de (P₂O₅) y un espesor de 1,6 m.

Se asume que la cantidad de mineral con características similares al de Pesca, es de aproximadamente 4 Mt, de las cuales el 50% puede ser recuperable por métodos convencionales de minería subterránea. La recuperación es baja en consideración, a que en la explotación se deja parte del piso por ser de bajo tenor y la parte superior de la capa mineralizada hay que dejarla como sostenimiento para evitar mayor dilución.

Explotación. El yacimiento está siendo explotado por la Empresa Fosfatos de Boyacá, que reinició operaciones en 1991. Se espera estabilizar la producción en 24.000 toneladas/año, de las cuales 12.000 toneladas serían para aplicación directa y el resto para acidulación parcial.

Depósito de Tesalia (Huila). Al norte de la población de Tesalia y en una extensión de aproximadamente 8 kilómetros, afloran tres niveles de fosfatos en una secuencia que hace parte del flanco occidental de un gran sinclinal cuyo eje sigue una dirección general N-S. De estudios geológicos realizados en la región, se delimitaron cuatro sectores explotables sobre una capa fosfática con 1,0 m promedio de espesor.

Reservas. Se han estimado reservas probables de 1,5 Mt, de las cuales 1 Mt son explotables en forma subterránea con desagué por gravedad. Las reservas recuperables se estiman en 0,5 Mt teniendo en cuenta que el techo de la capa de fosfato es un chert inestable en muchos sectores, lo cual reduce el área explotable por problemas de dilución y sostenimiento.

Al Norte del límite del área investigada (Norte del Río Yaguaracito) se continúan las manifestaciones por lo menos en una extensión de 2 km. Al Oriente de Tesalia, en el flanco oriental del sinclinal, se explota una capa fosfática de aproximadamente 1 m de espesor, con tenores superiores a 20% de (P_2O_5) y reservas probadas y probables estimadas en 1 Mt.

Explotación. La parte Norte del depósito fue explotada parcialmente entre 1988 y 1990 por la firma Surfós; en la actualidad no hay explotación y no está prevista su reactivación.

El depósito que se encuentra al Oriente de Tesalia, es explotado desde hace más de veinte años por la Empresa Fosfacol y actualmente se producen 15.000 t/año.

Depósito de Aipe (Huila). Los depósitos de Media Luna se encuentran en jurisdicción de la población de Aipe. Un área de 10 km², localizada 15 km al Norte de Aipe presenta una estructura sinclinal asimétrica; el flanco occidental contiene una capa fosfática cuyo espesor varía entre 0,52 y 1,61 m (en promedio 0,83 m). Los respaldos están constituidos por limolitas silíceas.

Reservas. Excluyendo los sectores con espesores menores a 0,70 m. se calcularon 5 Mt de roca fosfórica en el rango de probadas y probables, un tenor promedio de 25% de P_2O_5 y un espesor promedio de 0,93 m. La relación de CaO/P_2O_5 es de 1/4. El bloque que contiene estas reservas se encuentra por encima de la cota topográfica de la Quebrada Bambucá. La explotación debe ser subterránea. Los derechos del yacimiento están en cabeza de la Empresa Fosfatos del Huila, sin que se haya definido el uso que le va a dar al recurso mineral.

PROSPECTOS.

Los prospectos que no han tenido aún una evaluación a detalle y que merecen ser considerados en futuros trabajos son:

- Baraya (departamento del Huila).
- Tibú - Las Mercedes (departamento Norte de Santander).
- El Conchal - La Azufrada (departamento de Santander).

RESERVAS.

En la tabla 6 se presentan las reservas geológicas para los principales depósitos de roca fosfórica en Colombia. La tabla 7 registra las reservas recuperables, en cuyo estimativo se ha tenido en cuenta:

- Contenido de (P_2O_5) mayor de 20%.
- Tipo de reservas en función de la cantidad y calidad de la información.
- Los métodos de explotación.
- El dimensionamiento de los lugares de extracción en relación con la mecánica de rocas.
- Espesor de la capa fosfática y variabilidad en el contenido de (P_2O_5).

El total de reservas recuperables existentes en los lugares referidos sólo llega a la cifra de 13,9 Mt equivalentes aproximadamente a 3 Mt de P_2O_5 .

TÍPOS DE MINERÍA

La producción nacional de fosforita proviene de los yacimientos localizados en Boyacá y Huila. Las empresas explotadoras son privadas o de capital mixto y extraen el material por el sistema a cielo abierto (Sardinata) y subterráneo (Pesca y Tesalia).

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA Y GRADO DE TRANSFORMACION

La roca fosfórica a nivel nacional es utilizada principalmente para elabo-

Tabla 6
YACIMIENTOS Y RESERVAS GEOLOGICAS DE ROCA FOSFORICA EN COLOMBIA
 (miles de toneladas)

YACIMIENTOS	GRADO	RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES
Sardinata	23% P ₂ O ₅	2.000
Iza	17% P ₂ O ₅	7.000
	20% P ₂ O ₅	4.000
	17% P ₂ O ₅	16.000
Pesca	20% P ₂ O ₅	16.000
Aipe (Medialuna)	25% P ₂ O ₅	5.000
Tesalia	24% P ₂ O ₅	2.500

Fuente: Mineralco S.A. 1991.

Tabla 7
RESERVAS RECUPERABLES ESTIMADAS DE FOSFORITA Y P₂O₅
 (miles de toneladas)

YACIMIENTOS	P ₂ O ₅	ESPESOR CAPA (m)	RESERVAS RECUPERABLES	TONELADAS P ₂ O ₅
Sardinata	23%	1,10	1.500	345
Iza	20%	1,60	2.000	400
Pesca	20%	2,60	6.900	1.380
Aipe (Medialuna)	25%	0,90	2.500	625
Tesalia	24%	1,00	1.000	240
TOTAL			13.900	2.990

Fuente: Mineralco S.A. 1991.

ración de fertilizantes, siguiéndole en importancia la elaboración de productos fosfatados para alimento animal, la industria de los detergentes y otras industrias químicas.

De la evaluación de los yacimientos de roca fosfórica del país se deduce que no hay en la actualidad un sólo depósito con reservas suficientes y de aceptable calidad, como para desarrollar un complejo importante de fertilizantes a partir de la elaboración de ácido fosfórico. Esto indica que el futuro desarrollo de los yacimientos colombianos, en lo que respecta al campo de los fertilizantes, queda li-

mitado a proyectos de baja y mediana escala en una industria de roca fosfórica, para aplicación directa o de roca parcialmente acidulada. El radio de consumo podrá ampliarse en la medida en que los precios internacionales del TSP se incrementen y que haya disponibilidad de ácido sulfúrico a bajos precios. Una eventual posibilidad adicional de desarrollo está en los termofosfatos tipo Rhenania, dado el óptimo resultado en suelos ácidos tropicales.

Roca para Aplicación Directa. La roca fosfórica finamente molida es usada para aplicación directa, consumo que

en varios países no es tenido en cuenta en las estadísticas para fertilizantes. Según la FAO el consumo mundial se estima en 1,2 Mt de P₂O₅ (5% del consumo de fertilizantes fosfatados), de los cuales más del 70% corresponden a la antigua URSS. El consumo puede ser superior si se tiene en cuenta el uso que se le está dando en la China.

La eficacia de la roca fosfórica como fertilizante ha sido muy cuestionada. Los factores que hacen difícil una apreciación al respecto son:

- La roca fosfórica varía ampliamente en su reactividad y, por ende, en su valor agronómico.
 - La respuesta agronómica de la roca fosfórica depende principalmente del tipo de suelo y, en menor proporción, del cultivo y de los factores climáticos.
 - La forma de aplicación, el tiempo y la granulometría, también inciden en el resultado.
- Sin embargo, tiene muchas otras ventajas; en especial, cuando se usa cerca de su lugar de origen, por:
- Baja inversión de capital para procesamiento (trituration y molienda).
 - No requiere de alta tecnología.
 - Las necesidades de energía son pequeñas.
 - Rocas que no se usan en procesos químicos, ya sea por alto contenido de carbonatos, o no ser concentra-

bles, son usadas en aplicación directa.

- La economía de escala no tiene importancia.

Investigaciones efectuadas por el Proyecto Fósforo IFDC-CIAT, así como por el ICA indican que las rocas fosfóricas colombianas presentan una reactividad media, y que son más efectivas sobre oxisoles y ultisoles, suelos ácidos de baja fertilidad (Llanos Orientales). En andesoles (excepto Nariño) e inceptisoles, su efectividad varía de baja a nula. Son recomendadas para proveer las necesidades de fósforo en los suelos del Departamento del Meta (cultivos de arroz, maíz y yuca) en Nariño (cultivos de papa) y en todos los suelos pobres en fósforo donde se cultive caña panelera.

De igual forma en suelos ácidos se ha comprobado su eficacia en el mejoramiento de los mismos. La respuesta agronómica y los beneficios obtenidos al usar roca fosfórica mezclada con cal, han sido mejores que cuando sólo se utiliza cal. Hay varios millones de hectáreas en el país con suelos ácidos y en donde la roca fosfórica puede ser usada exitosamente para mejoramiento del suelo (Figura 4).

No incluyendo pasto y otros cultivos donde la roca también puede usarse (palma africana y sorgo), se estima que más de 20.000 t de (P_2O_5) podrían emplearse en forma de roca, lo que equivale a 100.000 toneladas de roca mineral con tenor de 20% de (P_2O_5). Actualmente sólo se consumen cerca de 30.000 toneladas de roca.

Roca Parcialmente Acidulada. El término roca parcialmente acidulada (RPA) se refiere a roca fosfórica tratada con ácido para convertir únicamente el fosfato tricálcico insoluble, a la forma soluble en agua. Está comprobado que varios ácidos (sulfúrico, fosfórico, nítrico, clorhídrico), por sí solos o combinados, pueden ser usados para acidular la mayor parte de las rocas fosfóricas. Por razones económicas se utiliza con más frecuencia el ácido sulfúrico. La cantidad de ácido usada puede variar, dependiendo de las características de la roca fosfórica y de la calidad deseada del producto final.

Las rocas fosfóricas colombianas (Pesca, Huila) aciduladas a un 50% han mostrado en las investigaciones realizadas por el IFD/CIAT los mejores resultados. Después de cinco años de investigación, el centro de investigación de la Federación de Cafeteros (CENICAFE) ha encontrado que la roca fosfórica Huila, da una respuesta agronómica similar a la de otras fuentes de fósforo, tales como superfosfato triple, fosfato diamonio y escoria básica.

La producción a escala comercial de RPA se inició en Finlandia, en la década de los años treinta, posteriormente en Alemania y Francia (años sesenta). Más recientemente iniciaron producción de RPA, Israel, Brasil y Perú. El material RPA puede ser sometido a granulación (después de un período apropiado de curado), solo o combinado con nitrógeno o solo con potasio. El proceso de granulación puede ser mediante vapor de agua o por compactación.

Las investigaciones del IFDC/CIAT realizadas con RPA de Tesalia (Huila) y Pesca (Boyacá) mostraron que en la mayoría de los casos es tan efectiva como el TSP. Este hecho se comprobó en suelos ácidos, oxisoles de baja fertilidad y ultisoles de los Llanos Orientales, aplicando RPA a pastos, arroz y sorgo. En los suelos andepts de Nariño, la RPA dio más altos rendimientos en papa y maíz/fríjol que el TSP.

En conclusión, la RPA puede emplearse con resultados altamente positivos como una fuente de fósforo, en una amplia variedad de cultivos y en la mayor parte de las regiones agrícolas del país (Figura 5). La competitividad frente al TSP dependerá: de los precios internacionales de este último; de los costos internos del ácido y la distancia de transporte desde la fuente hasta el lugar de consumo.

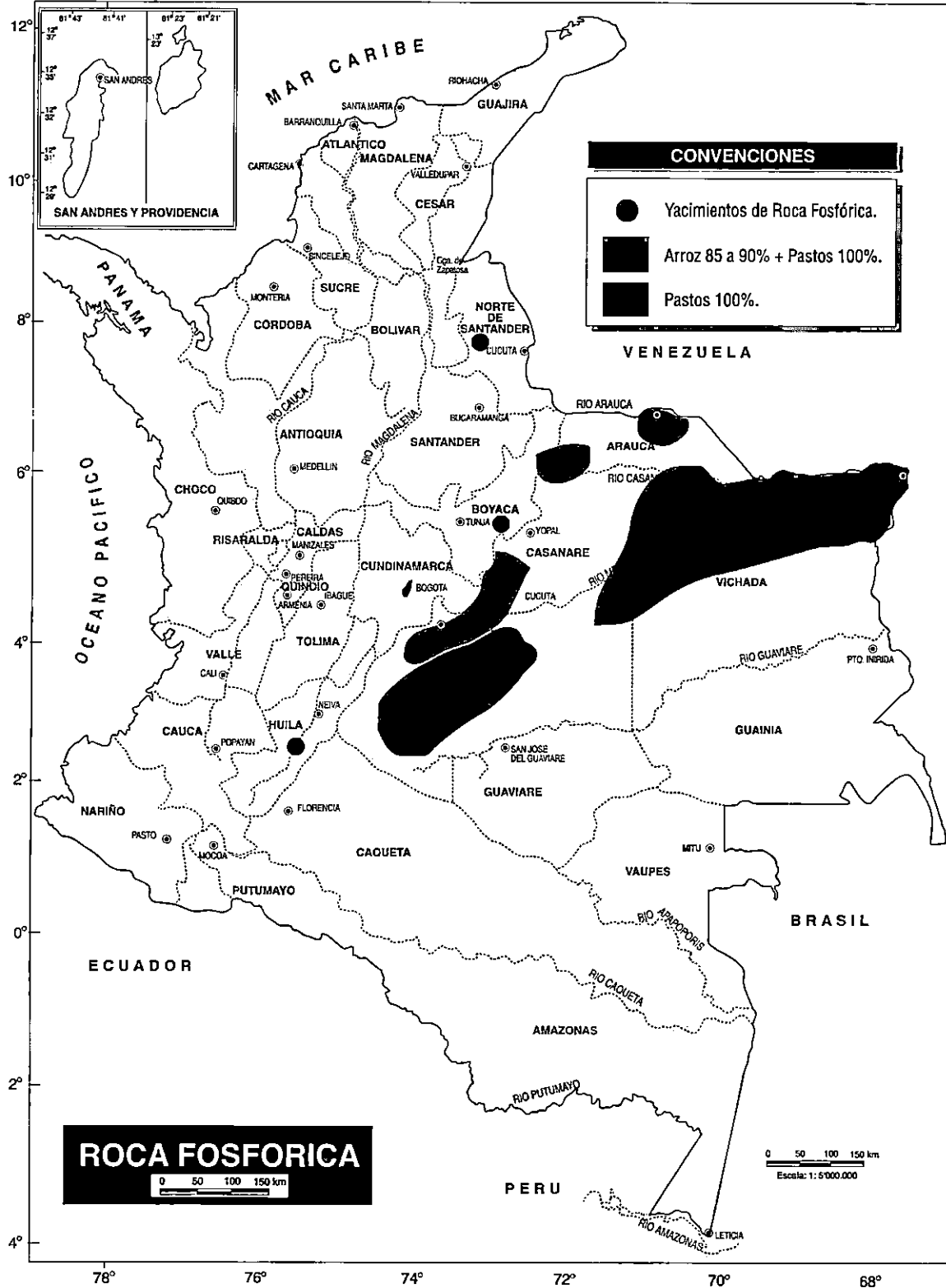
Las proyecciones a mediano y largo plazo indican que los precios internacionales de los fosfatos se pueden incrementar, tornándose así la industria de la RPA, en Colombia, en una alternativa atractiva.

Cerca de 16.000 toneladas de roca fosfórica colombiana (aproximadamente la séptima parte del consumo anual de fertilizantes fosfatados en el país) son vendidas y utilizadas cada año por los agricultores nacionales. En esta forma Colombia esta ahorrando divisas estimadas en US\$ 640.000 por año (IFDC Report 5, 1991).

MINERALCO S.A. en este campo estructuró con el apoyo financiero del Centro de Investigaciones para el De-

ZONAS POTENCIALES PARA LA UTILIZACION DE ROCA FOSFORICA

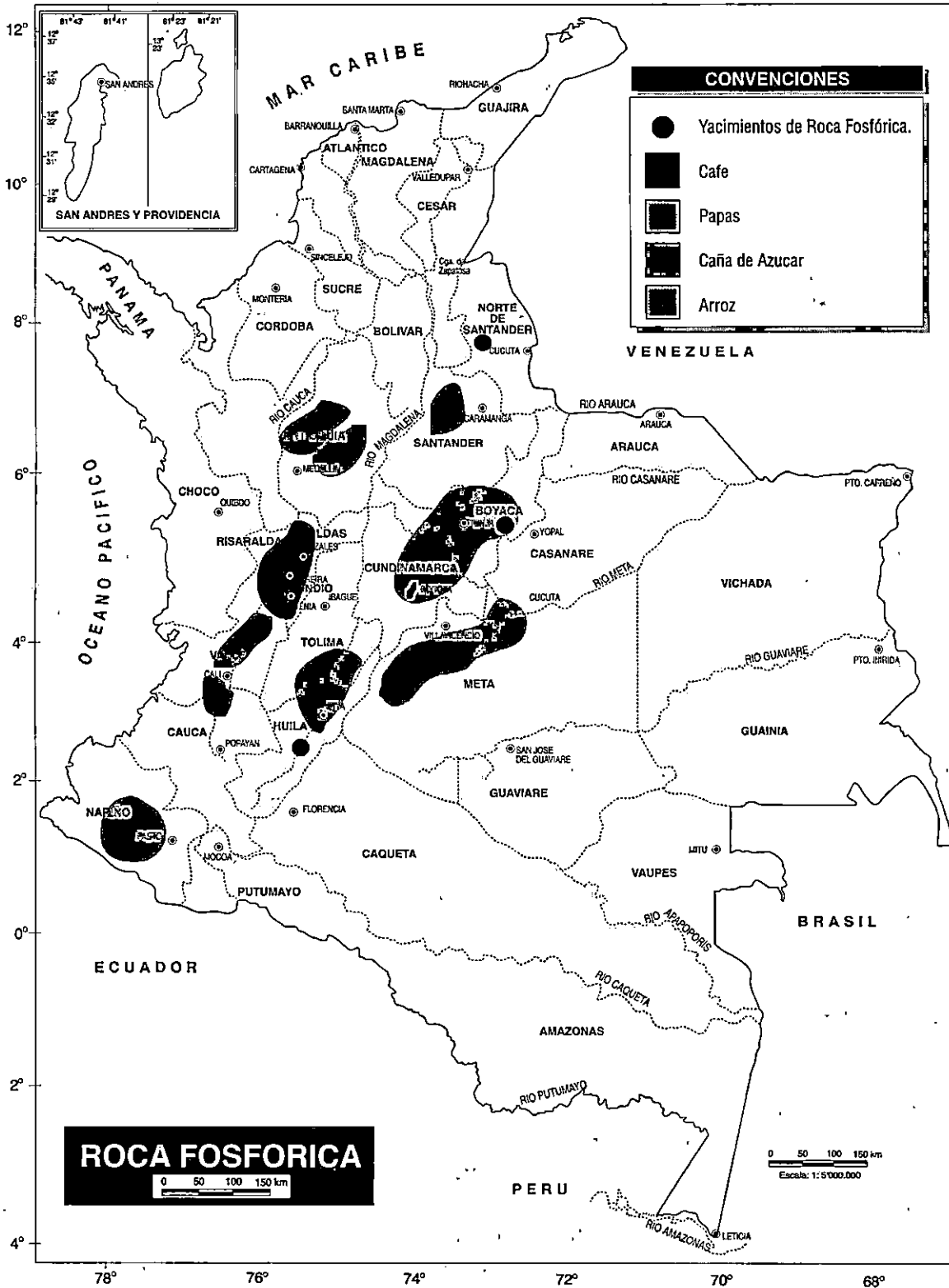
Figura 4.



Fuente: Mineralco S.A. 1991

ZONA DE MAYOR CONSUMO DE P₂O₅ Y SUS CULTIVOS

Figura 5.



Fuente: Mineralco S.A. 1991.

Tabla 8
APRECIACION COMPARATIVA DE SUPLEMENTOS FOSFATADOS

PRODUCTOS	VALOR BIOLÓGICO
Fosfato beta - tricálcico ¹	100
Fosfato monocálcico	120 - 130
Fosfato monosódico	115 - 125
Acido fosfórico	115 - 125
Fosfato Decálcico	95 - 105
Fosfato defluorizado (vía húmeda)	95 - 100
Fosfato defluorizado (calcinación)	70 - 80
Roca fosfórica baja de flúor	26,0
Harina de huesos	90 - 100

Fuente: Peeler, H.T. Calcio y Fósforo en la nutrición animal
¹ Referencia.

sarrollo (CIID) y la cooperación técnica del IFDC, un proyecto que culminó con la puesta en marcha de una planta para la producción de RPA en la localidad Pesca, por intermedio de la Empresa Fosfatos de Boyacá.

El Fósforo como Suplemento en la Alimentación Animal. El fósforo constituye el 1% del peso total del cuerpo de un animal, pero a diferencia del calcio, el 80% de la cantidad total se encuentra en los huesos. El 20% sobrante está distribuido por todo el cuerpo en cada célula viviente.

El fósforo representa usualmente, menos del 1% de la ración alimenticia de los animales; sin embargo, esta pequeña fracción es de importancia excepcional y afecta críticamente el poder nutritivo del 99% restante. Más del 60% del fósforo total de la dieta animal es de fuente vegetal. Los porcentajes de fósforo en los pastos fluctúan considerablemente (0,07 - 0,48%). Un forraje se considera de buena calidad

cuando su contenido promedio de fósforo es mayor de 0,2%.

La forma principal de fósforo en la mayoría de las plantas, es como fitato de fósforo. Los fitatos se combinan con muchos iones: calcio, magnesio, zinc, manganeso y fósforo, haciéndolos menos disponibles para el animal. Los animales adultos aprovechan mejor el fósforo de los vegetales que los animales jóvenes, por poseer en su tracto gastrointestinal una mayor concentración de fitasa (enzima, cuyo efecto es el de hidrolizar el fósforo fitínico y hacerlo disponible). Por tanto hay necesidad de manejar y abonar los suelos en la forma más correcta posible, para obtener forrajes con un contenido aceptable de minerales, entre ellos el fósforo.

Sin embargo, el fósforo así como otros minerales provenientes del forraje, no son suficientes en la dieta animal, siendo necesario suministrarlos como sales minerales. El fósforo se ofrece al fabricante de alimen-

tos en múltiples formas de compuestos orgánicos e inorgánicos tales como: fosfatos de calcio, sodio, potasio y amonio, ácido fosfórico, roca fosfórica defluorizada y harina de huesos. Cada uno de estos productos difiere en su disponibilidad biológica (Tabla 8).

La fuente de estos compuestos inorgánicos es la roca fosfórica, la cual debe ser sometida a un proceso de reducción y de eliminación del flúor antes de ser utilizada directamente o en procesos de mayor elaboración de compuestos fosfatados para alimento animal.

Los animales consumen normalmente niveles de flúor sin ningún efecto adverso, sin embargo, para algunas especies es benéfico y parece ser esencial. Por norma, cuando se utilizan fosfatos en la alimentación animal (ganado específicamente), estos deben ser defluorizados (<100 ppm de flúor); el suministro de roca fosfórica cruda debe evitarse. Los productos fosfatados que se comercializan a nivel internacional tienen una relación fósforo-flúor de por lo menos 100:1, esto asegura un nivel de flúor confiable en el producto, hasta para alimentar animales con una historia productiva muy larga, como las vacas lecheras.

Los alimentos para animales se clasifican en dos sectores: sales mineralizadas y alimentos concentrados, cuyos crecimientos anuales históricos han sido de 7,7 y de 5,5% respectivamente en el periodo 1983-1985 (Monómeros Colombo-Venezolanos). De esta forma el crecimiento del mercado del fósforo, depende de la evolución en la deman-

da que exijan estos sectores, los que a su vez dependen de los consumos de carne, leche, huevos y de la disponibilidad de fuentes orgánicas de fósforo y harina de huesos.

Monómeros Colombo-Venezolanos estimaba para 1992 un consumo interno de productos para alimentación animal derivados de la roca fosfórica, en algo más de 9.000 t de P_2O_5 y para los años 1996 y 2000 en 11.000 y 13.000 toneladas respectivamente. Este consumo vendría a ser satisfecho casi en su totalidad, por la planta de Fosfato Tricálcico que inició producción a finales de 1991.

Hasta 1991, la totalidad del fósforo de origen nacional utilizado en la alimentación animal, estaba representado en la harina de huesos, cuya producción en 1990 se estimó en 55.000 toneladas, con un contenido promedio de 14%, lo que aproximadamente equivale a 7.700 toneladas de fósforo o 17.638 toneladas de P_2O_5 . El resto de las necesidades de fósforo, con origen en roca fosfórica, se importaba en su totalidad, principalmente en la forma de fosfato bicálcico.

La planta de Monómeros Colombo-Venezolanos, con una capacidad de producción de 40.000 toneladas de fosfato tricálcico, utiliza en su proceso roca fosfórica y ácido fosfórico que en su totalidad son importados. (Roca: 30.000 t/año y ácido fosfórico 4.000 t/año en P_2O_5).

Las posibilidades de utilizar fósforo de origen nacional para esta planta, estarían representadas en el suministro de roca proveniente del yacimien-

to de Sardinata, dada su cercanía y contenido de fósforo, sin embargo, esta alternativa debe ser analizada dentro del contexto actual nacional y el mercado internacional.

El Fósforo en la Industria de los Detergentes y Otros. Los productos fosfatados requeridos en la industria de los detergentes, así como aquellos utilizados en otras industrias químicas (productos farmacéuticos, bebidas, alimento humano, tratamiento de textiles, dentífricos, insecticidas) son en su totalidad importados.

El país consume anualmente un volumen aproximado de 19.000 t/año de tripolifosfato de sodio utilizado en la industria de los detergentes; este producto en su gran mayoría es importado de Venezuela y tiene como destino las fábricas de detergentes.

En Cartagena, opera una planta productora de ácido fosfórico, "Productora Andina de Acidos y Derivados "PAAD" que importa 1.600 toneladas/año de fósforo elemental proveniente de la China y produce 6.000 toneladas/año de ácido fosfórico, materia prima para la elaboración de fosfatos de sodio, calcio y potasio.

El 75% de la producción está destinada para el consumo nacional, especialmente en productos farmacéuticos, bebidas y alimento humano; el resto es para exportación.

Características del Mercado

DEMANDA

El consumo de fertilizantes a corto plazo es muy sensitivo al precio y a la

condición económica del usuario. La producción agrícola, en el caso del fósforo, no guarda relación con el ritmo de aplicación, pues la mayoría de los suelos tienen la propiedad de almacenar este elemento. Los cuatro mayores cultivos que utilizan fósforo en el país son papa, café, caña de azúcar y arroz (70% del total).

Históricamente, la demanda en los últimos quince años se ha visto reducida, al principio por los precios; posteriormente, la depresión de 1977, y luego por la recesión económica de comienzos de los ochenta.

Las proyecciones de demanda realizadas a principios de la década de los ochenta han venido sufriendo ajustes, tanto por los motivos ya expuestos, como por la no realización de ciertos eventos tenidos en cuenta en los cálculos (expansión significativa de tierras de riego, producción de alcohol para su uso como combustible, laboreo agrícola en zonas de nuevas exploraciones petroleras).

El consumo proyectado para el año 2000 está en un rango que va desde 145.700 t/año de P_2O_5 (Banco Mundial) hasta 272.700 t/año (Hansa Luftbild). La tabla 9 presenta la demanda proyectada con base en el consumo real de 1990 (11.600 t de P_2O_5) y las tasas de crecimiento establecidas por el IFDC-CIAT en la proyección que realizaron en el año de 1986. Se considera la proyección realizada por el IFDC-CIAT (proyecto fósforo) la más acorde, no únicamente por las tasas de crecimiento seleccionadas, sino por el año base utilizado en las proyecciones.

En los últimos años la roca fosfórica de aplicación directa al suelo se produce y consume a un ritmo de 30.000 t/año. La tabla 10 muestra el consumo de fertilizantes fosfatados en el período 1978-1990.

OFERTA

La producción nacional de roca fosfórica proviene de empresas particulares o con capital mixto. Los pequeños productores de fertilizantes compran la materia prima a las empresas grandes para su utilización en procesos donde se mezclan, granulan o licúan los fertilizantes.

En la tabla 9, se muestra el volumen de producción de roca fosfórica en el período 1990-1993.

Tres empresas, FOSFACOL, FOSFOBOYACA Y FOSFONORTE, explotan roca fosfórica y cuentan con instalaciones de beneficio. FOSFACOL produce 15.000 t/año para aplicación directa. La mayor parte de la producción de FOSFONORTE es consumida por MONOMEROS y ABOCOL (10.000 t/año); el resto se destina para aplicación directa. La planta de FOSFOBOYACA reinició operaciones en 1991. La producción proyectada a partir de 1992 era de 12.000-15.000 t/año para aplicación directa y 12.000 t de roca parcialmente acidulada, con 7% de P_2O_5 soluble y un total de 17% de P_2O_5 . A corto y mediano plazo se espera un incremento sustancial en el consumo de RPA.

La capacidad actual de producción en el país es del orden de 90.000 t de P_2O_5 /año (productos granulados NPK, nitrógeno, fósforo, potasio y escorias

Thomas). Esta capacidad es apenas suficiente para satisfacer las necesidades locales, las cuales se situaron en 1990 en 116.000 t. de P_2O_5 , incluyendo roca para aplicación directa y fertilizantes simples importados. Las instalaciones actuales no tienen mayores planes de expansión en los equipos de granulación y tampoco se piensa en establecer nuevas plantas.

Los productores de roca, FOSFACOL Y FOSFOBOYACA, incrementarán su producción hasta lograr copar su capacidad de molienda (30.000 y 50.000 t/año respectivamente). Esta producción no puede eliminar la importación que se hace de roca fosfórica, por el costo de transporte de la mina a las plantas de producción de NPK, y por problemas de calidad. FOSFOBOYACA, incrementará seguramente su producción de roca parcialmente acidulada, hasta copar la capacidad del reactor (30.000 t/año). Se espera que otros productores de roca fosfórica sigan el ejemplo de FOSFOBOYACA ante el éxito obtenido por este producto.

Tabla 9
VOLUMEN DE LA PRODUCCION NACIONAL DE ROCA FOSFORICA 1990-1993
(toneladas métricas)

AÑO	VARIACION %	
1990	34.161	
1991	36.981	8.26
1992	39.790	8.22
1993	44.960	15.13

*Para 1993 se consideran 6000 t de roca fosfórica parcialmente acidulada.

Fuente: Empresa Ejecutora de Fosfatos de Norte de Santander Fosfacol, Fosfoboyacá, Mineralco S.A. (Estadísticas del sector minero N° 9 Mayo 1994).

A comienzos de la década de los ochenta el Gobierno Nacional, a través de ECOMINAS, hoy MINERALCO S.A., le dio especial atención al posible desarrollo de un complejo para la producción de 100.000 t/año de (P_2O_5), utilizando roca fosfórica del yacimiento de Pesca (Boyacá).

Después de varios estudios, este proyecto se paralizó, principalmente por la incertidumbre en la cantidad y calidad de las reservas locales y además el estancamiento relativo en el consumo de fertilizantes en el país y la paralización del proyecto Amoníaco-Urea, el cual iría a suministrar el nitrógeno necesario.

Nuevos desarrollos importantes que impacten el sector de fertilizantes, no están previstos a corto plazo, salvo que se presente una oferta adicional y barata, de ácido sulfúrico o ácido nítrico.

La planta de fertilizantes de MONOMEROS inició producción en 1972; está constituida principalmente por una planta de granulación de nitrofosfatos. ABOCOL, a través de su casa matriz AMOCAR, produce amoníaco y ácido nítrico. Parte del amoníaco (16.000 t/año) y gran parte del ácido nítrico son utilizados para producción de NPK granulados.

La importación en 1990 de materia prima y de productos terminados para la elaboración de fertilizantes fosfatados, así como de fertilizantes simples para aplicación directa (ácido fosfórico, fosfato diamónico, fosfato monoamónico, roca fosfórica y superfosfato triple), tuvo un valor aproxi-

Tabla 10
CONSUMO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS 1978-1990
(toneladas de P₂O₅)

AÑO	COMPUESTO NPK	FOSFATO DIAMONICO D.P.A.	SUPERFOSFATO TRIPLE T.S.P.	ESCORIA BASICA	ROCA FOSFORICA	TOTAL
1978	57.555	2.970	2.790		5.850	69.165
1979	65.760	1.845	1.935		5.680	75.220
1980	57.525	900	1.800	740	5.700	66.665
1981	55.275	2.700	1.550	700	5.250	65.475
1982	57.540	9.000	450	600	5.500	73.090
1983	68.755	7.965	1.035	2.440	4.240	74.435
1984	61.650	9.720	1.350	3.400	5.080	81.200
1985	63.647	8.730	1.980	3.280	5.010	82.647
1986	75.542	8.505	3.015	3.680	4.560	95.302
1987	95.370	11.384	3.492	4.840	4.370	119.816
1988	84.051	15.003	3.740	5.800	6.032	114.626
1989*	73.299					73.293
1990	80.068	20.733	3.564	4.234	7.450	116.049

* No existen estadísticas para los fertilizantes simples

Fuente: Ministerio de Agricultura Fósforo en NPK = 15% P₂O₅. Fósforo DAP.TSP = 45% P₂O₅. Fósforo Escoria = 10% P₂O₅. Fósforo Roca fosfórica = 20% P₂O₅.

mado de US\$32 millones. Estos productos están destinados a la elaboración de fertilizantes compuestos NPK en las plantas de MONOMEROS y ABOCOL, que tienen una capacidad de producción de 580.000 t/año. En los últimos años la importación de fertilizantes simples para aplicación directa (DAP y TSP) se ha incrementado sustancialmente (Tabla 10).

El suministro de fósforo netamente nacional, está representado en aproximadamente 60.000 t/año de escoria básica, producida por Acerías Paz del Río (10% P₂O₅), y 40.000 t de roca fosfórica (20%-33% P₂O₅), de las cuales 10.000 t son utilizadas por las plantas procesadoras de la Costa Norte, el resto se aplica directamente al suelo y una pequeña parte se acidula parcialmente.

PRECIOS.

La producción de FOSFACOL en 1993 fue de 12.000 t de roca fosfórica para aplicación directa, vendida a \$50.000/t en planta. FOSFOBOYACA produjo en el mismo año 7.500 t de roca para aplicación directa y 6.500 t de Fosfasid-S (roca parcialmente acidulada al 50%) que se vendió a \$72.000/t. FOSFONORTE registró en 1993 una producción de 15.000 t, de las cuales, 11.000 t de roca para uso industrial (35% P₂O₅) y 4.000 t de roca para aplicación directa (29% P₂O₅). La roca de uso industrial se vendió a \$38.500/t (para clientes antiguos) y la roca de uso agronómico a \$33.000/t (Información Dr. A. Peñaranda). Los precios en 1994 se incrementaron en un 24% respecto a 1993. Un poco más del 70% de la roca de uso industrial tiene destino a

MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS. La roca para aplicación directa se lleva a los Llanos Orientales (Villavicencio 40%, Acacías) y Antioquia.

Proyecciones

En la tabla 11 se muestra comparativamente las proyecciones de oferta y demanda de (P₂O₅) para el período 1990-2000. Para 1995, existirá un déficit superior a 37.000 toneladas de P₂O₅, que será cubierto con importaciones de DAP y TSP para aplicación directa. Del total de la demanda en 1995 (140.300 t. de P₂O₅), 20.800 toneladas o sea el 14,8% será de origen nacional. Para el año 2000, este porcentaje no experimentará mayor incremento en razón al crecimiento que

Tabla III
PROYECCION DE OFERTA Y DEMANDA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS
 (miles de toneladas de P₂O₅)

AÑO	DEMANDA' PROYECTADA	OFERTA PROYECTADA ²					DIFERENCIA	OFERTA LOCAL	IMPORTACION
		NPK ³	ESCORIA	ROCA ⁴	PPA	TOTAL			
1990	116.0	80.0	5.5	6.0	0.0	91.5	24.0	14.8	101.2
1995	140.3	80.0	5.5	8.0	4.0	97.5	42.8	20.8	119.5
2000	162.7	80.0	5.5	10.0	6.0	111.5	51.2	24.8	137.9

1. IFDC-CIAT (Proyecto fósforo). 2. MINERALCO S. A. 3. Incluye 3.400 t. de origen nacional. 4. Aplicación Directa.

se espera en la producción de roca fosfórica para aplicación directa y de roca parcialmente acidulada.

Colombia en el futuro, puede producir una mayor cantidad de roca fosfórica; sin embargo, sólo podrá consumirse en la medida en que se promocióne su utilización en forma directa o soluble. Bajo esta situación se lograría reducir la diferencia entre demanda y oferta que, para el año 2000, se ha estimado en 51.200 toneladas de P₂O₅.

La utilización de las reservas de roca fosfórica nacional tiene repercusión importante en la economía del país, representada en el ahorro de divisas por la sustitución de importaciones y de algunos fertilizantes fosfatados; en la generación de empleo en las zonas mineras y las plantas de procesamiento y adicionalmente puede incidir y ocasionar una reducción de precios en los fertilizantes importados.

En 1990 la agricultura colombiana consumió 116.000 t de P₂O₅, de las cuales solo 14.800 t fueron de origen nacional (5.500 t de escorias y 9.300 t de roca fosfórica). Si se considera un

precio para la unidad de fósforo de US\$156,1/t y se toma como base el precio de la roca Florida CIF US\$50/t el ahorro en divisas por el consumo de roca fosfórica nacional equivale a US\$1,45 millones. Bajo el supuesto de poder sustituir la totalidad del fósforo incluido en los fertilizantes simples importados (Fósforo Diamónico y Superfosfato Triple), las proyecciones muestran (Tabla 11) que, el ahorro de divisas para los años de 1995 y 2000 sería de US\$13,95 millones y US\$16,7 millones respectivamente. (Precio para la Unidad de Fósforo US\$326/t, y un precio CIF del TSP de US\$150/t).

Las posibilidades de sustitución de los fertilizantes simples importados (DAP y TSP) por fertilizantes de origen nacional, pueden ser mayores en la medida en que se fomente el desarrollo de la industria de roca fosfórica parcialmente acidulada, y siempre y cuando se tenga un mejor conocimiento de aquellos yacimientos que están cerca de los centros de consumo.

En el futuro se espera que el mayor consumo de fosfato se presente principalmente en las regiones con agricultura menos desarrollada. En el

contexto mundial, se espera que Latinoamérica muestre un crecimiento en el uso del fosfato, en el caso de Brasil, la industria de roca fosfórica nacional continuará supliendo las necesidades del país. En México, donde el proceso de privatización se encuentra bastante adelantado, la industria del fosfato atraviesa por un período de confusión (Mew, 1993).

La utilización de roca fosfórica para elaborar productos fosfatados para la industria de alimentos grado animal y para la industria química es algo más remota, toda vez que las plantas productoras, MONÓMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS y PRODUCTORA ANDINA DE ACIDOS Y DERIVADOS, trabajan sobre la base de roca y fósforo elemental importados.

Existe la posibilidad de un suministro de roca fosfórica del yacimiento de Sardinata para sustituir las importaciones que hace MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS, sin embargo el reducido volumen de reservas con calidad adecuada (>35% P₂O₅) de este yacimiento y la falta de capacidad instalada para el beneficio, son las principales limitantes. Respecto a

los productos fosfatados para la industria de los detergentes, (trípolifosfato de sodio) y, considerando que un alto porcentaje del consumo nacional está siendo cubierto por Venezuela, es remoto a corto plazo pensar en utilizar fósforo nacional en este campo.

RESTRICCIONES AMBIENTALES.

En la elaboración de fertilizantes fosfatados, se originan ciertas emanaciones gaseosas, que si no son controladas pueden, según su concentración ocasionar serios daños al medio ambiente. Las principales emanaciones son:

- El dióxido y trióxido de azufre provenientes de las plantas de ácido sulfúrico durante la elaboración de ácido fosfórico.
- Los gases de flúor generados en la elaboración de superfosfatos y en la acidulación de la roca fosfórica o en la producción de roca parcialmente acidulada.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

El fósforo como elemento esencial para el crecimiento de las plantas (conjuntamente con el azufre y nitrógeno) es un componente básico para el desarrollo de la agricultura de un país.

En Colombia la perspectiva de alcanzar lo anterior con materia prima nacional, es relativamente moderada, por lo que el país continuará dependiendo de las importaciones de fertilizantes fosfatados. Sin embargo, en

los sectores minero e industrial, se dan condiciones que contribuirían a tal perspectiva.

NIVEL MINERO.

En el sector minero se considera que el país presenta una amplia dispersión de recurso fosfático, sin embargo son muy escasos los depósitos con el volumen y calidad como para desarrollarlos a mediana escala y llegar a competir en el campo internacional.

Los depósitos colombianos de fosforita muestran reservas y calidades, que aunque modestas, permiten su aprovechamiento a nivel local, en forma de fertilizantes semielaborados. A lo largo de la Cordillera Oriental y flanco Sureste de la Cordillera Central se encuentran tres regiones en las que se sustenta la producción nacional: Sardinata (Norte de Santander); Pesca- Iza (Boyacá) y Tesalia (Huila).

En nuestro medio y para la mayor parte de los recursos minerales del país (exceptuando el carbón) es tan escaso el conocimiento geológico-minero que tenemos, que las cifras de reservas y recursos se presentan conjuntamente y es muy poca la información sobre la viabilidad técnica y económica de producción con los tenores o leyes comercializables del recurso mineral.

En síntesis, es conveniente adelantar una revaluación detallada de la magnitud, calidad y vida útil de los diferentes yacimientos de fosfato y particularmente una exploración sistemática en unidades sedimentarias del Terciario de la Costa Atlántica y la Guajira.

Las proyecciones de consumo nacional son del orden de 140.000 t de P_2O_5 en 1995, de las cuales, el país con sus reservas actuales sólo participará en un 15%. Si bien es cierto, que dentro del sector minero el grupo de los tres minerales (P_2O_5, K_2O, S) ocupa una prioridad secundaria, es importante reconocer el potencial geológico que ofrece el país.

NIVEL INDUSTRIAL.

En el Sector Industrial la participación de la producción minera nacional es de sólo 25% en fósforo. Las importaciones considerando el grupo de los tres minerales alcanza una cifra cercana a los US\$180 millones y cerca del 95% de las mismas se destina para la industria de fertilizantes.

El mercado de la roca parcialmente acidulada (RPA) deberá estar destinado a ir eliminando paulatinamente las importaciones crecientes que se efectúan de TSP y DAP para ser aplicados como fertilizantes simples. Las proyecciones de la tabla 9 indican que éstas son del orden de 42.800 t de (P_2O_5) para el año 1995 y de 51.200 t para el año 2000.

La escoria de CERRO MATOSO S.A. puede utilizarse como materia prima para producir fertilizantes magnesianos, o si se combina con roca fosfórica para producir termofosfatos.

RECOMENDACIONES

- En aquellos cultivos y lugares que han sido recomendados por el CIAT, promover e incentivar el uso

de roca fosfórica para aplicación directa.

- Promover y apoyar el montaje de pequeñas plantas para la elaboración de roca parcialmente acidulada (RPA) o de superfosfato simple (SSP), lo que permitirá además de reducir importaciones crecientes de fosfato diamonio (DAP) y superfosfato triple (TSP), el aprovechamiento de los yacimientos de roca fosfórica ya evaluados.
- Crear un fondo de fomento para la minería de los minerales no metálicos y estimular la producción de los fertilizantes nacionales.

Un país agrícola y cafetero como Colombia, requiere de estudios, investigaciones y la tecnología que le permitan diseñar y desarrollar programas integrales de minería y agricultura.

- Impulsar e incentivar la producción nacional con base en políticas mineras que faciliten la asistencia técnica y se preste apoyo a una minería que por las características geológicas y la distribución de los depósitos de fosforita, no ha dejado de ser una industria de pequeña escala.
- No reiniciar la actividad exploratoria en los yacimientos de edad cre-

tácica localizadas en la Cordillera Oriental.

- Enfocar la exploración hacia ambientes geológicos favorables, como el Terciario Sedimentario de la Costa Atlántica y la Guajira, considerados de mayor importancia a nivel regional ya que podrían encontrarse depósitos similares a los tipos Sechura (Perú), Riecito (Venezuela) y Florida (USA).
- En los Valles de los ríos Cesar y Ranchería existe el ambiente geológico propicio para explorar depósitos de edad cretácica en la Serranía de Perijá.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas y Reserva Base de Roca Fosfórica en el Mundo.
- TABLA 2. Reserva Base de Roca Fosfórica en el Mundo.
- TABLA 3. Reservas y Reserva Base de Roca Fosfórica en Estados Unidos.
- TABLA 4. Producción Mundial de Roca Fosfórica, Período 1987-1994.
- TABLA 5. Precios del Fosfato en Estados Unidos y Marruecos.
- TABLA 6. Yacimientos y Reservas Geológicas de Roca Fosfórica en Colombia.
- TABLA 7. Reservas Recuperables Estimadas de Fosforita y P_2O_5 .
- TABLA 8. Apreciación Comparativa de Suplementos Fosfatados.
- TABLA 9. Volumen de Producción Nacional de Roca Fosfórica 1990-1993.
- TABLA 10. Consumo de Fertilizantes Fosfatados 1978 - 1990.
- TABLA 11. Proyección de Oferta y Demanda de Fertilizantes Fosfatados.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Variación de la Producción Mundial de Roca Fosfórica.
- FIGURA 2. Precios Reales para la Roca Fosfórica.
- FIGURA 3. Localización de Proyectos y Prospectos Míneros para Roca Fosfórica.
- FIGURA 4. Zonas Potenciales para la Utilización de Roca Fosfórica.
- FIGURA 5. Zona de Mayor Consumo de P_2O_5 y sus Cultivos.

BIBLIOGRAFIA

- CIAT-IFDC, 1987. El sector de Fertilizantes Fosfóricos en Colombia. Alternativas de Oferta y Políticas Opcionales. Proyecto Fósforo 1987 (sin publicar).
- COLDEX, 1978. Exploración y Evaluación de Roca Fosfórica Area de Media Luna.
- ECOMINAS, 1985. El Fósforo y el Calcio en la Alimentación Animal en Colombia. Posibilidades de Defluorinación de la Roca Fosfórica.
- ECOMINAS, 1989. Posibilidades de Desarrollo de los Yacimientos Colombianos de Roca Fosfórica en la Elaboración de Fertilizantes.
- ECOMINAS-CNC, 1983. Estudio de Ampliación de Reservas Yacimiento de IZA.
- ECOMINAS-SINGMASTER Y BREYER, 1981. Estudio de Factibilidad para la Industrialización de la Roca Fosfórica, Pesca - Sardinata.
- ICA, 1992. Estadísticas.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1992. Estadísticas.
- FOSFACOL, 1989. Estudio Geológico Yacimiento La Juanita - Tesalia.
- IEC-INTEGRAL, 1985. Estudio para la Formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero.
- IFDC, 1967. Fertilizaer Manual.
- INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia 2a. Edición V2, p. 856-893.
- MONTAÑA GERMAN, 1992. Roca Fosfórica-Mineralco.
- MEW, M. 1993. Phosphate Rock, en: Metals and Mineral Annual Review, 1993.
- STOWASSER. W.F. 1993. Phosphate Rock, en: E&MJ March, 1990, 1991, 1993.
- 1988 Phosphate Rock, en: Minerals Yearbook-1988.
- WERNER, W. 1967. Die Rhenamia Dunger, Verlag & Shaper.
- WORLD BANK, 1979. World Phosphate Survey.
- YUGOS Y DAVE, 1978. Exploración y Evaluación de Roca Fosfórica - Norte de Tesalia.

YESO

Hernando Mendoza I. ⁽¹⁾

Miguel Riaño. ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El yeso es un mineral de sulfato, muy común en la naturaleza y se encuentra en capas sedimentarias asociado con calizas, shales, arcillas, areniscas y margas. El yeso crudo comercial es un material de alto grado, que usualmente es utilizado sin necesidad de beneficio. Tiene una composición de 79% de sulfato de calcio y 21% de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Como término genérico y comercial es utilizado para todos los materiales de sulfato de calcio.

El yeso calcinado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) es un producto que resulta de la calcinación parcial de yeso. El yeso subproducto es resultado de procesos químicos en la elaboración de ácido fosfórico, ácido hidrofúorhídrico, ácido nítrico y del dióxido de titanio a partir de ilmenita.

A nivel mundial y nacional se describen cuatro tipos de depósito:

- a) Estratificados en capas sedimentarias.
- b) Como masas y bolsones irregulares asociados a zonas de falla.
- c) En forma de lentes y masas irregulares en áreas de secuencias evaporíticas
- d) Como lentes y venas en áreas sometidas a procesos volcánicos y metamórficos. Los dos primeros tipos corresponden a los depósitos más representativos en Colombia.

Las reservas mundiales de yeso son del orden de 2,6 billones de toneladas, de las cuales 800 Mt corresponden a Estados Unidos. Los países productores de yeso en orden de importancia son: Estados Unidos, Canadá, China, Irán y Tailandia. La producción va desde

(1) Geólogo MSc., Ingeominas Bucaramanga.

(2) Mineralco S.A.

17,6 a 6,1 millones de toneladas. Estados Unidos sigue siendo el mayor productor mundial de yeso crudo, con 16% del total mundial. En Colombia las principales áreas yesíferas se localizan en los departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca, estimándose reservas medidas e indicadas de 52, 15 y 8 millones de toneladas respectivamente. En la Guajira, en una extensión de 1.000 hectáreas se encuentra un depósito de yeso con reservas medidas de 6,7 Mt.

La mayoría de los depósitos de yeso en el mundo se encuentran cerca a superficie y son explotados por métodos convencionales de minería, principalmente por el sistema a cielo abierto.

Estructura de la Industria

El yeso antes de su comercialización es sometido a un proceso de selección por tamaño y a una limpieza de las impurezas principalmente shale y material carbonoso.

Características del Mercado

El mercado del yeso no está sometido a restricción alguna, es considerado como un material común y de bajo costo. El progreso en la industria del yeso está muy ligado a la actividad constructora. La demanda continúa por debajo de los índices registrados en los años ochenta. En Europa el mercado tiende a fortalecerse a causa de la reunificación de las dos Alemanias, mientras que en Estados

Unidos la tendencia a mejorar es menos marcada, a pesar de la fuerte recesión en la construcción. La mayor competencia en precios se ha presentado en los productos con prefabricados a base de yeso, mercado en el que Estados Unidos es un exportador neto.

En nuestro medio el mercado de yeso es libre, sin embargo, su dinámica es limitada, en parte por la escasa infraestructura de las regiones mineras y por ser una minería que adolece de la capacidad económica y técnica para salir a los nuevos mercados. Con la entrada de nuevos productos de yeso a un mayor número de usuarios, el mercado a partir de 1991 dejó de ser de compradores y es así como en 1992 se presentó un notorio incremento en los precios del mineral.

Proyecciones

En general, el comportamiento del yeso depende directamente de la industria de la construcción y es diferente para cada país. En los países industrializados las mayores cantidades se destinan a la elaboración de láminas de papel yeso para techos y paredes. En Europa del Este, incluyendo las dos Alemanias se espera una mejor proyección respecto a la Europa Occidental. En Estados Unidos más del 90% del yeso utilizado, se consume en la industria de la construcción, principalmente en manufactura de productos de láminas prefabricadas, y en menor proporción en la fabricación de cemento portland. La puesta en operación en 1990 de nuevas plantas de prefabricados, influyó en los bajos precios, y a pesar de continuar los niveles altos en la de-

manda, varias compañías registraron problemas económicos. Países como Canadá, Australia y México, mantienen un comportamiento estable y exportan sus excedentes a países vecinos. En Iran, Iráq y Tailandia existe gran capacidad de producción; en los dos primeros poco se conoce sobre su industria, mientras que en el caso de Tailandia, es un país que en corto tiempo se ha convertido en exportador.

El consumo de yeso en Colombia registra una tendencia similar a la mundial presentándose la mayor demanda en los prefabricados de yeso. Durante los tres últimos años, la producción se ha incrementado en más del 110% respecto al período 1980-1988. El alto índice de crecimiento de la industria de la construcción; la recuperación de la industria cementera con los nuevos ensanches en las plantas del interior del país, y el aumento en la capacidad instalada, permiten esperar en los próximos 8 años, un incremento en el consumo de yeso entre el 7 y 10%.

Los costos de transporte desde los puertos hacia el interior del país ha sido un factor favorable para que el yeso nacional pueda competir con el yeso importado, situación que por lo demás ha contribuido al desarrollo de la industria yesífera nacional.

Perspectivas de Desarrollo en el País

El yeso es un material prioritario e importante para el desarrollo industrial del país. Las perspectivas industriales son buenas, el suministro del material debe

satisfacer no sólo el mercado local, sino también generar los excedentes para elaborar el clinker de cemento y productos terminados para su exportación al Caribe y Centroamérica.

Más del 60% de la producción nacional proviene de explotaciones a cielo abierto. En general, la industria yesífera adolece de la infraestructura minera necesaria para disminuir costos de producción y comercialización; además no dispone de los recursos financieros para promocionar su desarrollo, atraer la inversión y brindar respaldo a los actuales empresarios mineros.

Las reservas actuales se consideran bajas, por lo que es prioritario determinarlas con una mayor presión, particularmente las que se encuentran en las áreas mineras en explotación. La escasa exploración geológico-minera se ha quedado a nivel de reconocimientos superficiales, situación que ha impedido el desarrollo de prospectos potencialmente promisorios.

El Estado debe realizar algunas inversiones en la exploración y evaluación geológico-minera en dos de las áreas con depósitos en explotación. En la región de Los Santos Zapatoca-Villanueva (Santander) es importante tener un mayor conocimiento de la magnitud de la cuenca evaporítica; localizar y caracterizar los niveles yesíferos en explotación y otros actualmente identificados, información que puede mejorar el estimativo de reservas y facilitar el diseño y planeamiento minero.

Otras regiones con recurso yesífero

aún inexplorado, son las de Páez, Miraflores, Almeida (Boyacá) y Gachalá (Cundinamarca); estratégicas desde el punto de vista de ubicación geográfica y calidad de los depósitos considerados de alta pureza.

A nivel minero e industrial se justifica adelantar la investigación de nuevos mercados y usos para el yeso calcinado y establecer un plan que ofrezca a la minería del yeso sistemas innovativos, aplicables desde el punto de vista técnico, económico y social. Un desabastecimiento en mineral de yeso, generaría altos costos en la industria de la construcción y afectaría los programas de vivienda a nivel nacional.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El yeso es el más común de los minerales de sulfato que se encuentran en la naturaleza. El término yeso se utiliza industrialmente para referirse al mineral o a la roca. Como mineral, se relaciona al sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). El sulfato de calcio anhidro (CaSO_4) se denomina anhidrita y comercialmente se le considera equivalente al yeso.

El yeso roca (rock gypsum) es un material de color gris oscuro, masivo a finamente cristalino y granular. Usualmente se encuentra interestratificado con caliza, shale y dolomita. La calidad del yeso se determina por el con-

tenido de anhídrido sulfuroso (SO_3), parámetro que se determina con base en el yeso con 100% de pureza y un contenido de 47,05% de SO_3 .

En la naturaleza se reconocen las siguientes variedades minerales:

Alabastro: yeso roca de alta pureza, translúcido, blanco a ligeramente coloreado, se utiliza en esculturas.

Selenita: yeso transparente e incoloro.

Espato Satinado: yeso fibroso, con lustre sedoso, generalmente se encuentra como relleno de fracturas, en planos de estratificación y como costuras superficiales.

Yesita (gypsite): cristales de yeso en matriz de arcilla y/o arena, es un material redepositado, de aspecto terroso, que se forma en la superficie por evaporación de aguas sulfatadas.

El yeso se forma en ambientes evaporíticos, asociado a rocas y minerales sedimentarios, principalmente shales, calizas, limolitas rojas, sales de potasio, magnesio y sal gema o halita. A temperaturas inferiores de 42°C el yeso, por ser menos soluble precipita antes que la halita y otras sales. Los ambientes favorables para que se formen salmueras, requieren de una evaporación suficiente, condición que generalmente se presenta en zonas de climas cálidos, con temperaturas altas y precipitación relativamente baja.

De los tipos de depósito conocidos, cuatro son los más representativos en cuanto a producción:

a) Depósitos estratificados en capas sedimentarias formadas por acumulación de sedimentos en la plataforma continental y la precipitación por evaporación de sales en solución de aguas marinas. En las secuencias evaporíticas el yeso es el primer mineral en precipitar, formando capas y láminas que se intercalan entre calizas y shales.

b) Depósitos de yeso asociados a zonas de falla; formados por la reacción de soluciones ricas en ácido sulfúrico (proveniente de piritas) con rocas calcáreas o carbonatadas. Son de forma irregular, como vetas y bolsones.

c) Depósitos en forma de lentes, masas irregulares y láminas; resultado de la evaporación de soluciones que atraviesan secuencias evaporíticas y/o yesíferas.

d) Depósitos formados por la reacción química entre el azufre (S) y dióxido de carbono (CO₂), liberados durante la actividad volcánica o por procesos metamórficos en rocas ricas en calcio y alúmina. Se presentan en forma de venas en enrejado, cristales aislados y como lentes.

SITUACION DE LAS RESERVAS

MUNDIALES

A nivel mundial no es fácil obtener la información cuantitativa sobre reservas de yeso. Sin embargo, los depósitos se encuentran distribuidos ampliamente y se estima que las reservas con criterio conservador son de 2,6 billones de toneladas. Según la cifra, los recursos y reservas de yeso

son suficientes para el futuro, aunque no a muy largo plazo. En Estados Unidos, se han estimado reservas del orden de 800 millones de toneladas que a la tasa actual de producción alcanzarían para un tiempo aproximado de 50 años.

NUEVAS FUENTES DE RESERVAS

El yeso como subproducto se produce en la desulfurización de gas; en la acidulación de roca fosfórica y a partir de otros procesos químicos y metalúrgicos.

La producción de yeso como subproducto va en aumento, sin embargo sólo una pequeña cantidad es la utilizada. En 1992 Estados Unidos alcanzó una producción de 650.000 toneladas de yeso subproducto de la manufactura de fertilizantes fosfatados. Este yeso es utilizado como fertilizante y normalizador de suelos (Dickson, 1993). También hay tendencia a utilizar más cantidad del yeso que resulta de plantas productoras de dióxido de titanio.

Japón, aunque no es el mayor productor de yeso sintético, si es el mayor consumidor. Gran parte de la producción de yeso sintético entra al mercado, en forma de productos de yeso, (prefabricados, estucos y en el cemento Portland entre otros).

TIPOS DE MINERIA

La mayoría de los depósitos de yeso se encuentran cerca a la superficie, son de fácil acceso y se presentan en capas horizontales a subhorizontales, características que favorecen la

explotación de roca en bruto por medio de métodos convencionales de minería.

La minería a cielo abierto es el sistema más utilizado, particularmente cuando el depósito se encuentra recubierto por material estéril con poco espesor. En sitios donde el estéril a remover es de gran espesor o está constituido por roca compacta y muy dura, o cuando el buzamiento de las capas yesíferas es pronunciado, es necesario realizar la explotación por minería subterránea, principalmente los métodos de cámaras y pilares, corte y relleno y subniveles y cámaras.

Estructura de la Industria

A nivel mundial los depósitos de yeso son muy similares y se caracterizan por su geología relativamente simple. El yeso antes de su comercialización es sometido a un proceso de selección por tamaño y a una limpieza de las impurezas principalmente shale y material carbonoso.

MATERIA PRIMA

Cerca del 20% de los productos a base de yeso se elaboran con yeso sin calcinar; en la misma forma se utiliza para la agricultura, fabricación de cemento Portland y como material de relleno. En el cemento se usa para retardar el tiempo de fraguado (endurecimiento) del concreto. El yeso roca, finamente molido es utilizado en agricultura para neutralizar los suelos alcalinos y salinos, también, para mejorar la permeabilidad del azufre

a los suelos. El mayor consumo de yeso calcinado se presenta en los productos prefabricados, en menor proporción para estuco industrial y para la construcción en general. En la industria del cemento, el yeso no tiene sustituto, aún no se conoce otro material que actúe como regulador de fraguado.

PRODUCTOS FINALES Y SUS APLICACIONES

Prácticamente todo el yeso y anhídrido producidos, son utilizados por la industria de la construcción. En países industrializados, el principal uso está en la elaboración de prefabricados, especialmente paneles y láminas de yeso para paredes y techos.

Estados Unidos registró en 1992 un incremento del 12% en la producción de paneles de yeso, respecto a 1991; alcanzando un total de 19.600 millones de pies cuadrados. En el mismo período tuvo un incremento del 48% en la exportación de paneles (160 millones de pies cuadrados).

Características del Mercado

El progreso en la industria del yeso está estrechamente ligado al nivel de la actividad constructora.

DEMANDA

Con excepción de algunos mercados

regionales que presentaron signos de recuperación, los niveles de demanda continuaron por debajo de los altos índices registrados en los años ochenta. La tabla 1 registra el volumen de producción mundial de yeso en el período 1984-1992.

La producción mundial de yeso en 1992 con respecto a 1991, mostró un ligero incremento, observándose una tendencia a mejorar en Estados Unidos y a una estabilización en Europa. En general, las estadísticas sobre producción mundial de yeso no son fáciles de obtener.

Grandes cantidades de la producción total, son utilizadas en la manufac-

Tabla 1
PRODUCCION MUNDIAL DE YESO POR PAISES
(miles de toneladas cortas)

PAIS	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Japón ²	6.700	6.900	7.000	6.600	6.900		6.400	6.350	6.400
Australia	2.129	1.923	1.842	1.760	1.825	1.980	1.800	2.000	2.100
Canadá	8.550	9.311	9.704	9.980	10.485	9.590	8.200	8.000	8.200
China	5.300	6.300	7.200	7.900	8.900	8.900	8.000	8.170	8.200
Francia	5.954	5.827	5.797	5.962	6.202	6.266	5.600	5.600	5.600
Alemania Federal	2.493	2.609	2.090	1.882	1.599	2.040	2.100	2.100	—
Irán	10.655	9.242	9.300	9.300	9.300	9.300	8.000	8.000	8.000
México	3.247	5.074	4.666	5.044	4.548	5.305	6.000	5.540	5.600
España	5.914	6.090	6.060	6.100	6.060	6.100	5.000	4.990	5.000
U.R.S.S.	5.400	4.655	5.070	5.270	5.300	5.300	4.700**	4.800**	—
Reino Unido	3.459	3.515	3.765	3.860	4.080	4.400	4.000	3.500	3.500
U.S.A.*	14.319	14.414	15.403	15.612	16.390	17.624	14.900	14.030	14.800
Tailandia	—	1.404	1.836	3.341	5.014	6.038	—	7.200	7.300
TOTAL MUNDIAL	94.559	95.905	98.175	101.913	105.776	108.624	97.700	93.960	98.000

1 : Todo como yeso subproducto — : Sin información * : Sin incluir yeso subproducto ** : Comunidad de Estados Independientes

Fuente: Modificado de Minerals Yearbook 1988, 1989; Mineral Commodity Summaries 1990, U.S. Bureau of Mines/U.S. Geological Survey; Metals and Minerals Annual Review 1992; 1993.

tura de prefabricados de yeso. En Estados Unidos cerca del 75% del yeso producido se destina a los prefabricados; 15 a 18% a la industria del cemento y un 4% a la agricultura. La producción de fosfo-yeso se ha visto afectada por la disminución en la producción de ácido fosfórico y al hecho de haberse detectado niveles de radioactividad en el producto final.

El uso del yeso como subproducto va en aumento constante y esto hace difícil el que se le incluya en las estadísticas de producción. Por ahora, los volúmenes de producción de las dos Alemanias se han incluido en la categoría de otros.

China es el mayor productor en el Lejano Oriente, y aunque el mayor consumo se registra en la fabricación de cemento y estuco, se vislumbra un mercado halagador para los prefabricados de láminas y paneles de yeso. En la misma región, Tailandia que fue un productor pequeño, pasó a ser un gran exportador, con 7 millones de toneladas producidas; sólo requirió 1Mt para suplir sus necesidades y el resto lo exportó a Japón, Indonesia, Taiwan y Malasia.

En Suramérica, Brasil produjo un millón de toneladas, pero al igual que el resto de países del área, la producción está más relacionada con las necesidades de la industria del cemento. En los últimos años, la producción de México se ha incrementado notoriamente, debido al aumento del consumo interno y a las exportaciones del mineral, principalmente a Estados Unidos.

Tabla 2:
YESO EN ESTADOS UNIDOS
(miles de toneladas cortas; U.S\$/tc)

CONSUMO APARENTE*	1985	1986	1987	1988	1989
Precios promedio	25,111	25,594	26,446	26,688	27,653
Bruto (FOB mina)	7,76	6,46	6,85	6,66	7,29
Calcinado (FOB planta)	23,53	18,19	18,28	18,13	15,96

*Incluye yeso en bruto, subproducto e importado.

Fuente: Minerals Yearbook, 1988; 1989; Mineral Commodity Summaries 1990, U.S. Bureau of Mines.

OFERTA

En Estados Unidos se registra una fuerte depresión, como resultado de la recesión en la construcción (Tabla 2). En 1991, el consumo total incluyendo el yeso subproducto, bajó en un 14% (21 millones de toneladas), el más bajo desde 1983. La utilización de la capacidad instalada sólo fue del 70%. Aunque la producción en 1992 registró ligero incremento, aún está por debajo de los niveles alcanzados en 1988. El mercado del yeso continúa en descenso y el aparente incremento en la demanda, se atribuye principalmente a la reconstrucción de edificaciones existentes. La competencia en los precios se ha reflejado en el mercado de los prefabricados, a tal punto que las 2 plantas productoras más grandes se encuentran en concordato.

El consumo aparente de yeso (incluye producción más intercambios en las existencias industriales de yeso en bruto y yeso subproducto) tiende a mantenerse en cerca de 27 millones de toneladas. Por el contrario el consumo aparente de yeso calcinado tiende a disminuir.

PRECIOS

En Estados Unidos el precio promedio de yeso en bruto se mantiene en cer-

cá de US\$7 la tonelada en boca de mina. El precio promedio de los productos de yeso vendidos o usados varía entre US\$82-85 tonelada. En 1988 los productos prefabricados se cotizaban a US\$100/tonelada; los paneles y láminas de yeso a US\$124,2/tonelada y los productos sin calcinar a US\$14,04/tonelada. En 1989 el precio del yeso calcinado bajó a US\$15,96/t y el del yeso subproducto disminuyó a US\$4,03/t. Los productos prefabricados se vendieron a US\$85,96/t, los estucos a US\$128,29/t y los productos sin calcinar a US\$13,44/t.

En los mercados Europeos, se ha presentado en los últimos años una fuerte competencia en precios, hasta el punto que en 1991 los precios en el Reino Unido estuvieron entre el 20-40% más bajos respecto a los dos años anteriores. En el resto de Europa, los mercados se han fortalecido; la reunificación de las dos Alemanias ha incrementado el volumen de ventas; sin embargo, aún se presenta una fuerte competencia en los precios del yeso. El mercado francés ha permanecido más o menos estable.

A partir de 1991 Estados Unidos se convirtió en neto exportador de paneles y láminas de yeso; sin embargo, la disminución en la demanda

y competencia de precios, colocó a los productores en una difícil situación, presentándose casos en los que los precios de paneles y láminas en 1991 estuvieron por debajo de los precios de hace 10 años.

Proyecciones

La industria de la construcción consume la mayor parte de la producción mundial de yeso, por lo que su proyección depende directamente del comportamiento de la construcción en cada país. En los países de Europa Oriental y las dos Alemanias se espera un crecimiento en la producción de yeso.

En Estados Unidos el consumo disminuye; se trabaja al 70% de la capacidad instalada y el segundo más grande productor the National Gypsum tuvo que recurrir a reestructuración financiera. Por ahora no es recomendable poner en funcionamiento nuevas plantas o penetrar al mercado con menos productos.

El mercado canadiense es pequeño comparado con el de Estados Unidos. Australia produce yeso para consumo interno y exportación.

Actualmente, Tailandia es un gran exportador. En Irán e Irak hay gran capacidad de producción, sin embargo, poco se conoce sobre la industria de estos países. En México, el aumento en la producción se explica más como resultado de un mejor manejo de las cifras estadísticas que del incremento de su capacidad instalada.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico - Mineros

En varias regiones del país se han reportado manifestaciones de yeso; sin embargo, su presencia no significa que se trata de yacimientos o mineralizaciones de tipo económico.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

En Colombia, el yeso se encuentra principalmente en terrenos de la Cordillera Oriental, en la costa de la Península de la Guajira y en algunos sectores de la Cordillera Central. Exceptuando los depósitos conocidos, la mayoría de las manifestaciones son de poco interés económico.

Según la clasificación universal, propuesta para depósitos de yeso, en el país existen las siguientes áreas de interés económico:

a) Depósitos Estratificados: se encuentran en la región de la Mesa de Los Santos (Santander) y en Carrizales, Municipio de Uribia (Guajira).

b) Depósitos Asociados a Zonas de Falla: generados por la reacción de soluciones ricas en ácido sulfúrico con rocas calcáreas. En el caso de los depósitos de Páez y Almeida (Boyacá), y Rovira (Tolima).

c) Depósitos por Reprecipitación de Soluciones: producidos por la reacción de soluciones que cruzaron secuencias yesíferas. Los depósitos en Los Santos (Santander), Villanueva (Santander), y en Almeida (Boyacá).

d) Depósitos Generados por Procesos Metamórficos y Actividad Volcánica: se han reconocido en la región de Anzá (Antioquia) y Neira (Caldas).

El listado a continuación enumera las localidades con yeso en el país, agrupadas de acuerdo con la clasificación universal de los diferentes tipos de depósito.

Localidades con prospectos o depósitos de yeso en Colombia.

a) Yeso sedimentario por evaporación aguas marinas

1. Carrizal, Uribia.
2. El Cardón, Uribia
3. Guayacán-El Diviso, Los Santos
4. Hato Grande, Villanueva
5. La Fuente, Barichara
6. Platanalito, Zapatoca
7. El Calvario - Villa de Leiva
8. Río Upía, Páez
12. Apulo
13. La Tete, Tocaima
14. Pubenza, Girardot
15. Doima - Piedras
17. La Esperanza, Aipe
18. Yesal, El Agrado
19. Sopenetrán
22. Sabaleta

b) Yeso por reacción de ácido sulfúrico con rocas calcáreas.

9. Páez, Miraflores
10. Quebrada. Los Trabajos, Almeida
11. Florida - San Isidro, Gachalá
16. Mina Yesocal, Rovira

c) Yeso por procesos volcánicos y metamórficos de bajo grado.

20. El Ventiadero, Concordia

21. Niverengo, Anzá
23. El Guineo, Neira
24. El Campadero, Chinchiná

- d) Yeso reprecipitado de soluciones que atraviesan rocas yesíferas.
3. Guayacán-El Diviso, Los Santos
 4. Hato Grande, Villanueva
 5. La Fuente, Barichara
 6. Platanalito, Zapatoca

La figura 1 presenta la localización de los sitios que contienen yeso. En algunos casos se trata de concentraciones de relativa importancia económica y en otros, varios prospectos hacen parte de un mismo yacimiento.

RESERVAS

Teniendo en cuenta la contribución a la producción nacional, las áreas productoras de yeso se pueden relacionar en el siguiente orden:

- a) Mesa de Los Santos (Santander); incluye sectores localizados en los municipios de Los Santos, Villanueva y Zapatoca.
- b) Área comprendida entre los municipios de Miraflores, Páez, Almeida (Boyacá) y Gachalá (Cundinamarca).
- c) Regiones de Tocaima, Girardot (Cundinamarca) y Rovira (Tolima).
- d) Área de Anzá (Antioquia) y Neira (Caldas).
- e) Región de Carrizales-Uribia (Guajira).

En el país, los permisos para explotación-explotación de yeso que han

sido otorgados, cubren un área de 29.464,4320 hectáreas. Como aporte de MINERALCO S.A. le han sido aprobadas 108.339,0135 hectáreas.

La distribución de reservas en las áreas de explotación es la siguiente:

- Depósitos de los Santos-Villanueva, Santander (APORTE 019). Reservas: Inferidas 160 millones de toneladas; indicadas 35 millones de toneladas; medidas 20 millones de toneladas. También se han medido 2,4 millones de toneladas de yeso tierra (granulado, según los mineros de la región).

- Depósitos de Páez Miraflores-Macanal, Boyacá (Aporte 1311). Reservas: Inferidas 8 millones de toneladas; indicadas 5 millones de toneladas y medidas 3 millones de toneladas.

- Depósito de Uribia-Carrizales, Guajira (Aporte 064). Reservas: Medidas 6,5 millones de toneladas.

- Depósito de Niverengo-Anzá, Antioquia. Reservas: Inferidas 300 mil toneladas; indicadas 100 mil toneladas y medidas 70 mil toneladas.

Otros depósitos no evaluados, son los de Tocaima-Girardot (Cundinamarca); Rovira (Tolima); Neira (Caldas) y Boavita (Boyacá).

TIPOS DE MINERÍA

Dependiendo de la naturaleza y características de los depósitos, la minería se realiza a cielo abierto, subterránea y combinada.

Las labores iniciales en la minería del yeso roca, por lo general comienzan con trabajos a nivel de superficie, sobre afloramientos, avanzando hasta donde el descapote lo permita. En la zona de Los Santos se ha llegado a explotar a cielo abierto con relaciones máximas de mineral: estéril = 1:10. A veces se realiza una extracción manual a pico y pala; sin embargo, desde el punto de vista económico, la explotación requiere de minería mecanizada y sistemática, utilizando equipos de voladura, ripado y cargue mecanizado para las labores de descapote, banqueo y eliminación de estériles.

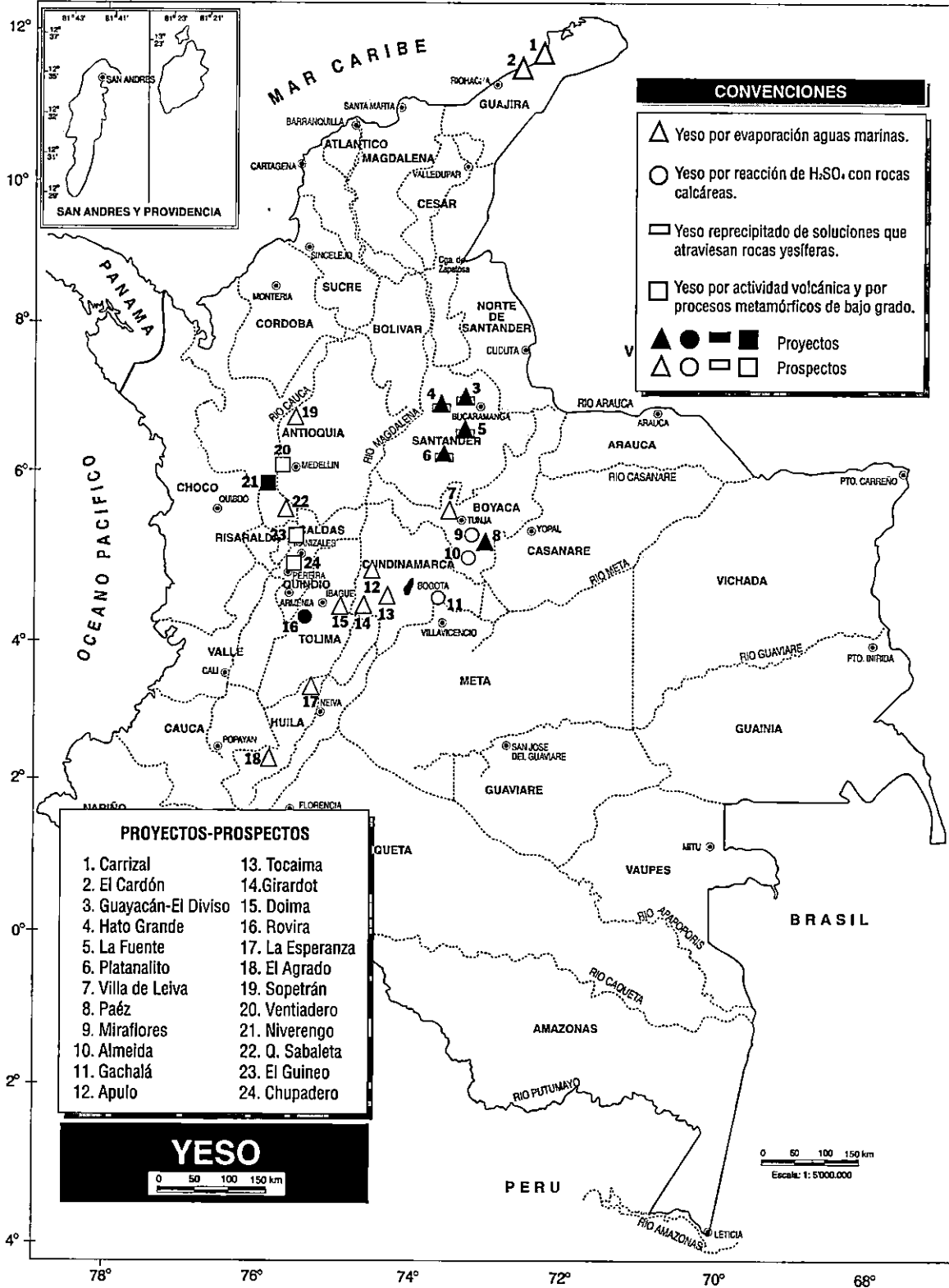
Cuando el espesor del material estéril, es considerable, se realiza minería subterránea en galerías y subniveles; especialmente cuando se tienen capas horizontales o que presentan poco buzamiento, se realiza minería por cámaras y pilares. En la Mesa de Los Santos algunos depósitos se explotan mediante sistema combinado, a cielo abierto y subterráneo. En estos casos también se requiere alto grado de mecanización y planificación minera.

Los depósitos de yeso formados por reacción de H₂SO₄ sobre roca calcárea en las zonas de Páez, Miraflores, Campo Hermoso y Gachalá; se explotan por minería a cielo abierto, con escasa o poca mecanización. En la zona de Rovira (Tolima), se sigue un sistema combinado a cielo abierto y subterráneo.

El yeso tierra (granulado) se extrae en la totalidad de los casos por minería a cielo abierto, en razón al escaso espesor del material de recubrimiento,

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA YESO

Figura 1.



que cuando existe, alcanza desde unos pocos centímetros a varios metros. En la mayoría de casos, es una actividad artesanal, no planificada, que ocupa una cantidad apreciable de mano de obra poco calificada.

Estructura de la Industria

El yeso está incluido dentro del grupo de los 14 minerales más representativos de la minería del país, pero sólo alcanza un 0,2% de participación sobre el total de la producción minera; sin embargo, el valor de la producción dentro de los minerales no metálicos es altamente significativo (6%). La producción nacional de yeso, más el volumen de material importado, nos da una idea de la demanda anual de yeso en Colombia (Tabla 3).

El yeso calcinado es utilizado:

- En la industria de la construcción: para morteros, yesos plásticos, pañetes plásticos para interiores y exteriores, estucos, prefabricados y láminas para techos y paredes.

- En arquitectura: para decoración de techos, arcos y enlucidos.

- En la industria en general: se utiliza en la cerámica, tiza, tratamiento de aguas, componentes de pinturas, etc.

- En salud: odontología y ortopedia.

El uso industrial del yeso calcinado se ha convertido en el principal campo de aplicación. El yeso destinado para estos usos representa un 63% de la demanda total del mineral.

Los depósitos de yeso formados por reacción de ácido sulfúrico sobre rocas calcáreas, son de buena calidad y muestran contenidos en SO₃ variando de 36% a 43%. Este tipo de yeso ha desplazado en parte la importación de yesos y principalmente es utilizado en procesos que requieren de mineral de alta pureza. Comparando los volúmenes de yeso importado a comienzos de la década de los años ochenta, se aprecia una disminución de importaciones en cerca del 50%.

El yeso que el país importa abastece parte de las necesidades de las plantas cementeras del grupo Caribe (Tolcemento-Colclinker y Cementos Caribe), debido a ventajas de localización geográfica y en virtud de las facilidades que se presentaban a través del Plan Vallejo. La producción de yeso de la Guajira, parece haber estado reemplazando parte de las importaciones que realizaban estas tres fábricas.

Hasta mediados de los años ochenta el mercado del yeso estaba en cabeza de las cementeras, no obstante, el dinamismo de esta industria no se ha mantenido a la par con el de la producción de yeso. A partir de 1988 el yeso ha encontrado buenas posibilidades en mercados de la industria de la construcción, elaboración de prefabricados de yeso, cerámicas y fertilizantes.

Si se considera que, en 1989 el consumo nacional de yeso fue de 588.000 toneladas, y que en 1990 se aumentó a 644.000 toneladas, se deduce que un porcentaje significativo de la demanda de yeso, estuvo en sectores diferentes al de la industria del cemento.

Tabla 3.
OFERTA Y DEMANDA DE YESO EN COLOMBIA
(Toneladas netas)

AÑOS	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Producción Nacional (toneladas)	260.408	251.038	295.042	302.100	307.236	553.025	608.328	638.744	670.681	439.467
Consumo (toneladas)	286.908	313.038	327.100	359.742	338.100	587.825	644.028	—	—	—

— No disponible

Fuente: MME, Oficina de Planeación SIMES - DGM

Mineralco S.A. (Estadísticas del Sector Minero)# 9 Mayo 1994.

Características del Mercado

OFERTA

El análisis del comportamiento de la producción nacional permite deducir lo siguiente: hasta finales de los años setenta el crecimiento de la industria yesífera fue escaso, en cierto modo proporcional al crecimiento de la industria cementera. En el período 1980-1985, la producción se mantuvo en un promedio de 250.000 t/año, cantidad que se incrementó a 300.000 t/año en el período 1986-1989.

A partir del año 1989 se registra el mayor incremento en la producción, superándose las 550.000 toneladas/año durante los 3 siguientes años. La tabla 4 presenta el volumen y valor en pesos de la producción nacional de yeso para el período 1980-1992.

Sobre el valor total generado por la producción del grupo de minerales no metálicos, el yeso pasó de un 4,5% del valor total en 1989 a un 6% del valor total en 1990, ocupando el cuarto lugar dentro del valor generado por el grupo de minerales no metálicos.

DEMANDA

A partir de 1989 la demanda interna de yeso se ha orientado a sectores diferentes al de la industria del cemento. Esta industria que utiliza yeso crudo sin calcinar, sólo está demandando un 35-40% de la producción nacional.

Es tal el auge del yeso, que en las entidades financieras se instalan placas removibles con grabados que retoman diseños arquitectónicos antiguos y figuras clásicas. Introduciendo toques de modernidad; el yeso se impone como el producto decorativo de los 90's.

PRECIOS

Ante una oferta que aparentemente supera la demanda, las compañías cementeras exigen material con mayor grado de pureza, situación que les facilita la imposición y control de precios; en otras palabras, se trata de un mercado de compradores. De otra parte, la industria cementera al estar localizada en la zona Andina del país, influye en gran medida en el mercado de oferta-demanda del yeso. Considerando el área de influencia de las cementeras, el país queda sec-

torizado en 5 zonas (Figura 2). Según esto, el precio dependerá de la variedad y pureza del yeso (masivo, terroso o granulado) y de la distancia entre el sitio de producción y el lugar de destino.

Las cementeras aceptan material con calidad de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Yeso granulado o yesita $SO_3 > 28\%$
Yeso roca $SO_3 > 30\%$

El material que presenta menor grado de pureza es rechazado o castigado con el precio.

El yeso proveniente de la Mesa de Los Santos y puesto en Bucaramanga, registró en 1991 el siguiente precio promedio:

Yeso roca \$10.500/tonelada.
Yeso granulado \$ 7.500/tonelada.

En pesos constantes el precio del yeso en los últimos años ha disminuido en un 15-20%.

En los costos de producción, incide notablemente la falta de mecani-

Tabla 4
VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE YESO (1980-1992)
(Toneladas netas - Miles de pesos corrientes)

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992(p)
Cantidad	262.400	270.200	280.600	224.000	260.408	251.038	295.042	302.100	307.236	553.025	608.328	638.744	670.681
Valor	115.600	140.288	179.023	265.955	350.211	400.068	457.023	445.962	585.071	1'505.675	1'505.671	1'740.600	2'467.300

(p) Datos preliminares

Fuente: MINERALCO S.A. (Estadísticas del Sector Minero No. 7, junio 1991)
MIME, Oficina de Planeación SIMES - DGM

zación y tecnificación de la minería, pero el factor de mayor incidencia corresponde a fletes por transporte. El costo de producción en el centro de acopio registra más de un 50% de recargo respecto al precio en boca de mina.

Desde 1991 la actividad constructora viene presentando una franca recuperación, lo que ha incidido en el consumo de cemento; los despachos nacionales del producto terminaron el año 91 con un crecimiento del 1,3%. Por su parte, las exportaciones de Clinker en 1991 mostraron un buen comportamiento y a pesar de las dificultades vividas en ese competido mercado, se alcanzó la cifra de 770.500 toneladas.

La producción total de la industria

colombiana del Cemento (que incluye el Clinker de exportación), tuvo en 1991 un incremento del 3,8%, alcanzándose por primera vez la cantidad de 7'047.500 toneladas. La tabla 5 registra la producción nacional de cemento y el Clinker de exportación para el período 1980-1991.

La figura 3 señala claramente como ha sido la variación de crecimiento de la producción de cemento y de la capacidad instalada. Exceptuando el año 81 cuando se tuvo el mayor incremento en la capacidad instalada, el resto del período 1982-1991 registra un crecimiento paralelo.

Durante los años 1990-1991 el consumo de yeso por parte de las cementeras se mantuvo en cerca del 40% de

la producción nacional. La restante producción fue consumida por otros sectores de la construcción, como los productos prefabricados, yesos plásticos, morteros y como material acondicionador de suelos. El comportamiento del mercado nacional sigue la tendencia mundial en cuanto a la demanda (relación 1:2), lo que hace prever un cambio en las políticas de precios en el corto tiempo; además, una mayor diversificación en los usos activará la exploración y explotación del mineral.

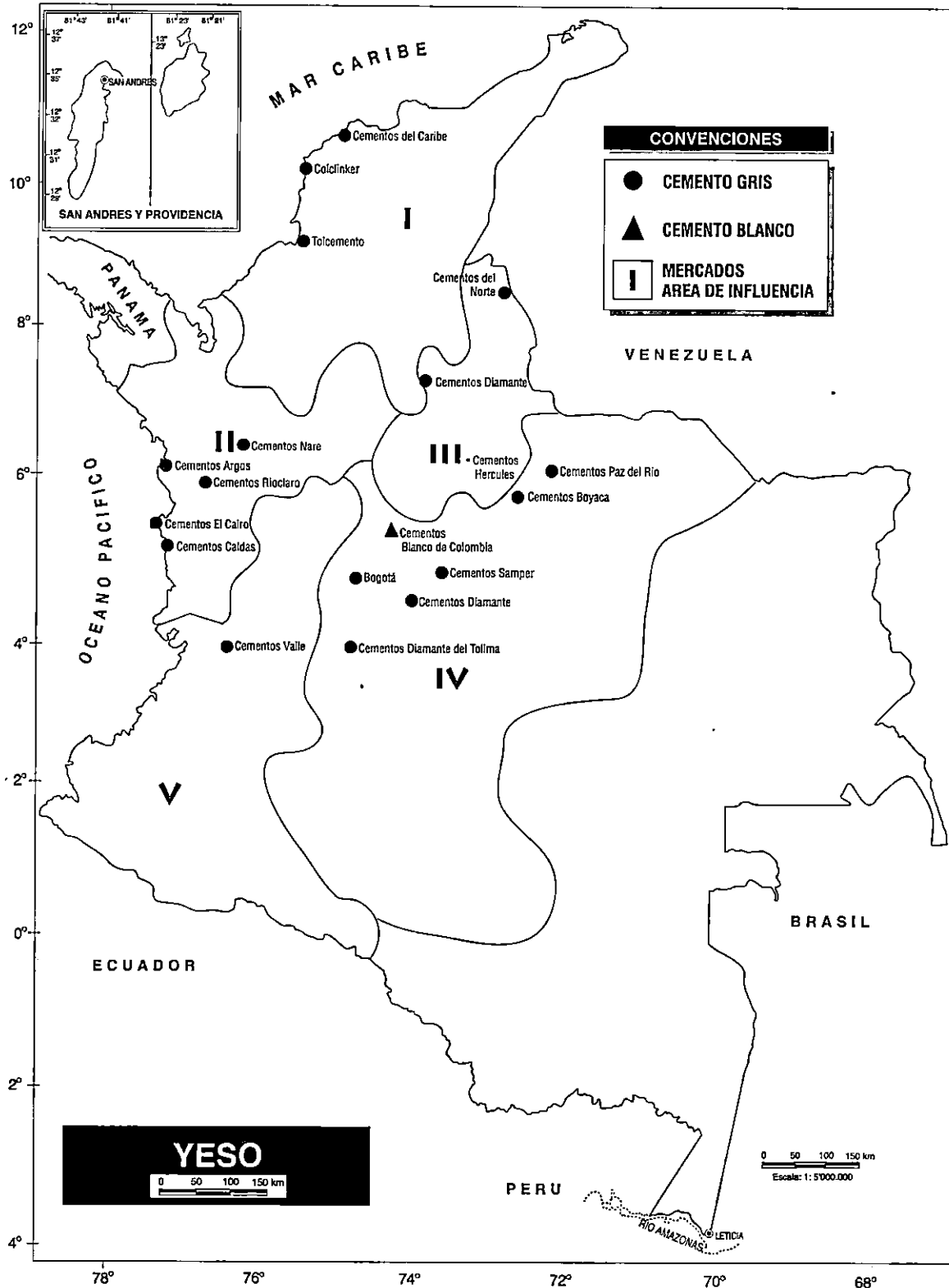
Frente a otros sustitutos, el yeso como medio de enchape en la industria de la construcción, resulta competitivo por su calidad de presentación y precios unitarios. Se espera que en un futuro próximo éste renglón seguirá siendo el mayor consumidor de yeso en el país.

Tabla 5:
PRODUCCION NACIONAL DE CEMENTO
(toneladas)

AÑO	GRIS	BLANCO	GRIS + BLANCO	CLINKER	TOTAL
1980	4' 322.118	55.183	4' 377.301	211.275	4.588.576
1981	4' 569.159	53.922	4' 623.081	21.842	4' 644.923
1982	4' 986.061	56.659	5' 042.720	76.093	118.813
1983	4, 768.857	48.719	4' 817.576	275.308	5'092.884
1984	5' 152.696	56.493	5' 209.189	361.089	5' 570.278
1985	5' 320.607	55.115	5' 375.722	316.378	5, 692.100
1986	5' 946.091	65.207	6' 011.258	424.971	6' 436.229
1987	5' 884.444	69.029	6' 053.473	484.483	6' 537.956
1988	6' 325.697	66.139	6' 391.836	386.163	777.999
1989	6' 531.570	68.078	6' 599.648	399.609	6' 999.257
1990	6' 179.677	73.403	6' 253.080	538.788	6' 791.868
1991	6' 202.169	74.877	6' 277.044	770.454	7' 047.498

LOCALIZACION FABRICAS DE CEMENTO EN COLOMBIA

Figura 2.



Proyecciones

El análisis del comportamiento de la producción nacional de yeso en la década anterior demuestra que durante el período 1980-1988 la producción promedio anual fue de 275.000 toneladas. A partir de 1989 la producción promedio aumentó a 553.000 toneladas, representando un incremento del 110% y en los 3 últimos años el promedio anual ha sido de 610 a 620.000 toneladas. La demanda por parte de la industria cementera respecto a la demanda en el sector de la construcción y otras industrias se mantuvo en la proporción 1:2.

Para los próximos 8 años se estima un incremento entre el 7 y el 10% en el consumo del yeso teniendo en cuenta:

- a) las cifras de crecimiento registrado por el sector de la construcción y afines, b) la recuperación de la industria cementera en los dos últimos años y c) el incremento en la capaci-

dad instalada según los ensanches de las plantas del interior del país. La figura 4 muestra la proyección del consumo estimado por sectores hasta el año 2000.

La industria de la construcción utiliza otros productos terminados (prefabricados, láminas para techos, muros, enchapes, decoración, etc.) que compiten en costos, más no en calidad con los productos de yeso. Como material que retarda el fraguado del cemento, el yeso no tiene sustituto que pueda competirle. En la industria de fertilizantes el yeso actúa como fuente de azufre y además en el control del pH del suelo al cual involucra los iones de calcio.

El yeso como subproducto de otros procesos no se muestra como alternativa, debido a los efectos contaminantes que se producen y a su baja calidad. Es el caso del yeso obtenido en la producción de ácido fosfórico a partir de roca fosfórica, que al ser utilizado en el concreto disminuye su re-

sistencia debido a la presencia de iones de fosfato.

PESPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

El yeso es un material prioritario e indispensable para el desarrollo de la industria cementera y de la construcción. En el país varias regiones contienen secuencias evaporíticas y ambiente geológico favorable para localizar depósitos de yeso. Dadas las características geológicas y geométricas de estos depósitos, es relativamente fácil evaluar el potencial del recurso existente en un área determinada y con un poco más de exploración dar estimativos sobre las reservas de mineral.

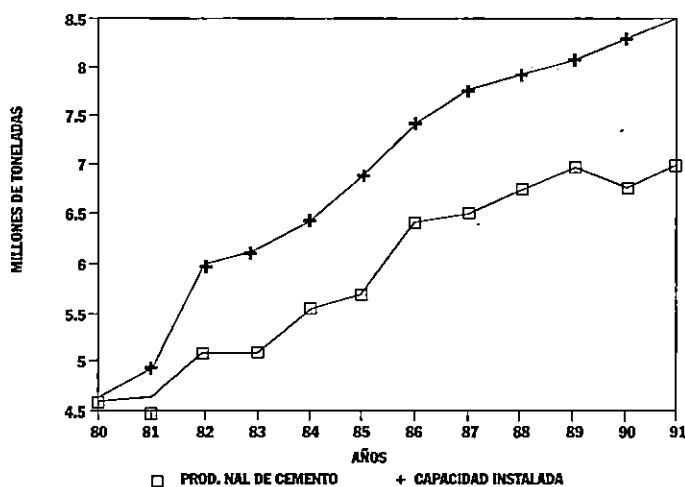
Nivel Minero

De las cinco regiones donde existen depósitos o prospectos que son aprovechados económicamente, las áreas de Santander, Boyacá y Cundinamarca presentan la mejor posibilidad de desarrollo, especialmente los sectores que hacen parte de los aportes 019 y 1311 de MINERALCO. En Santander se incluyen los municipios de Los Santos, Zapatoca y Villanueva; en Cundinamarca, municipios de Gachalá, El Guavio, Apulo y Tocaima y en Boyacá, los municipios de Páez y Miraflores.

Las regiones que presentan estudios con evaluación de sus depósitos son: Almeida (Boyacá), Anzá (Antioquia) y Uribí (Guajira), ésta última en el aporte 064 de MINERALCO S.A. De

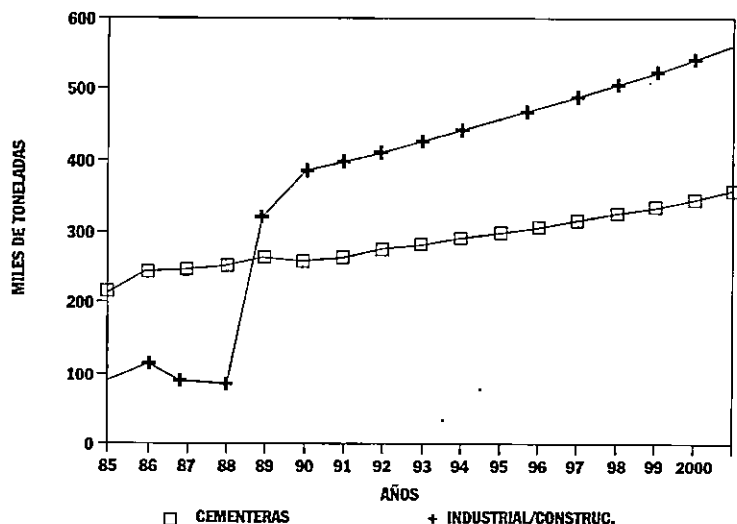
CAPACIDAD INSTALADA VS. PRODUCCION DE CEMENTO

Figura 3.



CONSUMO Y PROYECCION DE YESO

Figura 4.



las regiones antes mencionadas, la correspondiente a la Mesa de Los Santos - Zapatoca contiene las mayores reservas medidas de yeso roca. En este punto es necesario aclarar que en muy pocos casos, el grado de conocimiento de nuestros recursos minerales permite dar estimativos confiables sobre reservas. En el caso del yeso se citan las siguientes cantidades:

- Reservas medidas:
31'970.000 toneladas
- Reservas indicadas:
41'100.000 toneladas
- Reservas inferidas:
168'500.000 toneladas

De las tres categorías citadas sólo las reservas medidas, representan la cantidad real que en las actuales condiciones puede extraerse económicamente. Las cifras referentes a reservas indicadas e inferidas, en la realidad, sólo indican la cantidad de recurso mineral identificado, el cual para ser llevado a la categoría de reserva, re-

quiere de estudios técnicos y económicos que aporten información más precisa.

A la tasa de producción actual, las reservas de yeso alcanzarían para abastecer el consumo interno durante los próximos 40 años. Dada la situación actual regional y mundial de comercialización e intercambio de productos, al país le convendría incrementar las reservas medidas, principalmente en las zonas actualmente en producción y con infraestructura, en parte ya desarrollada.

La zona de Los Santos-Zapatoca (Santander) necesita menos estudios geológico-mineros que conduzcan a un mejor conocimiento de la cuenca evaporítica; y a la localización y caracterización de los diferentes niveles yesíferos; datos que contribuyen no solo a un mejor estimativo de las reservas sino también a prever posibles cambios en la calidad o pureza del yeso; aspectos importantes en la

planeación y desarrollo de la explotación subterránea.

La región comprendida entre los municipios de Páez, Miraflores y Almeida (Boyacá) y Gachalá (Cundinamarca), presenta yeso de alta pureza con una ubicación estratégica ideal para suplir las necesidades del mineral en el interior del país. Esta región presenta un alto potencial yesífero aún inexplorado y justifica una etapa de exploración que se podría iniciar mediante la ubicación estratégica de los niveles de explotación actual, realizar su delimitación y caracterización, lo que facilitaría la selección de bloques que sirvieran de soporte a la evaluación de reservas para el área.

Más del 60% de la producción nacional de yeso proviene de explotaciones a cielo abierto. La infraestructura básica disponible a la minería del yeso es en algunos casos muy deficiente. En el caso de Los Santos, el minero se encarga de la apertura de las vías de acceso y como tampoco dispone de fuentes de agua, la debe transportar en carrotaques. Tampoco se cuenta con redes de transmisión de energía y no hay puestos de salud.

A nivel nacional se registran 24 explotaciones de yeso (Censo Minero, 1988) de las cuales, 22 se explotan a cielo abierto y sólo 2 lo hacen por minería subterránea. En proporción relativamente baja es una minería formal de pequeña a mediana escala y una informal con un alto porcentaje de participación en la producción nacional.

Con incentivos para mejorar los precios, facilidades de asistencia técnica y con estímulos de financiamiento, la minería de yeso esta en capacidad de dar una respuesta positiva a corto y mediano plazo.

Nivel Industrial

Las perspectivas industriales del yeso en el país son buenas. Considerando el buen momento por el que atraviesa la industria de la construcción y por consiguiente la industria cementera, que son los dos principales consumidores, un adecuado abastecimiento contribuye al buen desarrollo industrial del país.

Dada la importancia que para el país representa la industria de la construcción, es conveniente mantener e incrementar la producción de yeso, en tal forma que no sólo se satisfaga al mercado local, sino que también se generen excedentes, para elaborar el clinker de cemento y los productos terminados, que se podrían llevar a los mercados de exportación.

No obstante el volumen de producción mundial de yeso, la situación de un exceso de oferta y productores bien

distribuidos geográficamente; el mercado de yeso nacional aún presenta posibilidades de exportación. A nivel Latinoamericano se registra una mayor oferta en México, República Dominicana, Haití, Argentina. En los países del Grupo Andino se registra la siguiente producción de yeso (Tabla 6).

A partir de 1989 el país disminuyó la importación de yeso en cerca del 50%, con respecto a lo que se importaba a comienzos de los años ochenta. La política de apertura e internacionalización de la economía puede traer algunas dificultades a la industria yesífera nacional; teóricamente por ser el yeso un material común y de bajo costo, no sería fácil su introducción y mercadeo a bajos precios, dado el elevado costo de transporte que implica llevarlo hasta el consumidor. La realidad muestra una situación algo diferente, que está ocasionando problemas a esta industria nacional.

RECOMENDACIONES

La dinámica del mercado del yeso es relativamente limitada. El ingreso de nuevos productos de yeso en

algunas líneas del sector de la construcción, se reflejó en un incremento en el precio del mineral y restableció las condiciones del mercado, que a partir de 1992 dejó de ser de compradores.

Se requiere mayor investigación sobre los mercados y usos del yeso calcinado, particularmente en productos prefabricados, artículos decorativos, enlucidos y productos terminados para la construcción.

Siguiendo una tendencia similar a la de los países desarrollados, el consumo de yeso en bruto (principalmente para cemento) y el consumo de yeso calcinado en Colombia muestra una relación aproximada de 1:2.

A partir de 1991 se viene registrando un incremento en la demanda interna de yeso, situación que contrasta con la falta de capacidad económica y técnica para que la minería del yeso se proyecte hacia nuevos mercados.

Un desabastecimiento en mineral de yeso, incidiría en mayores costos en la industria de la construcción y en cierta medida afectaría los programas de vivienda a nivel nacional.

Tabla 6.
PRODUCCION DE YESO EN LOS PAISES DEL GRUPO ANDINO
(miles de toneladas)

PAIS	1984	1985	1986	1987	1988
Venezuela	142,4	188,8	250,2	246,3	250,9
Ecuador	213,9	316,5	290,7	255,3	262,0
Perú	66,7	28,6	171,3	228,8	150,0
Bolivia	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Fuente: Minerals Yearbook, 1988

Los costos de transporte de material desde los puertos hacia el interior del país hace más competitivo al yeso nacional frente al importado.

Como ocurre en la mayoría de los países, el mercado del yeso es libre y no está sometido a leyes proteccionistas.

Dada la misma naturaleza del mineral, sus características de mercado y el no ser un material sometido a reciclaje, puede ser justificable para el desarrollo de la industria yesífera nacional el que se incremente la cantidad de las reservas medidas y se em-

prenda un programa de exploración detallada y de evaluación del potencial yesífero, particularmente en las regiones de los municipios de Los Santos, Zapatoca, Villanueva (Santander) y de Páez, Almeida, Gachalá (Boyacá y Cundinamarca).

Es conveniente establecer un plan de desarrollo que ofrezca a la minería del yeso sistemas innovativos aplicables desde el punto de vista técnico-económico, ambiental y social.

Un porcentaje significativo de la producción de yeso en el país, proviene de una minería informal, de pequeña

escala y de subsistencia, en gran parte atribuido a falta de infraestructura y a las distancias a los centros de consumo. La falta de capital de trabajo es una de las limitantes para que se adelanten explotaciones medianamente tecnificadas.

En general, la industria del yeso dispone de una buena capacidad de respuesta en el corto y mediano plazo, siempre y cuando se preste oportuna asistencia técnica al minero; se establezcan incentivos financieros y se abran nuevas líneas de crédito, ágiles y accesibles a la mediana y pequeña minería.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Producción Mundial de Yeso por Países.
TABLA 2. Yeso en Estados Unidos.
TABLA 3. Oferta y Demanda de Yeso en Colombia.
TABLA 4. Volumen y Valor de la Producción Nacional de Yeso (1980-1992).
TABLA 5. Producción Nacional de Cemento.
TABLA 6. Producción de Yeso en los Países del Grupo Andino.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Yeso.
FIGURA 2. Localización Fábricas de Cemento en Colombia.
FIGURA 3. Capacidad Instalada VS. Producción Cemento
FIGURA 4. Consumo y Proyección de Yeso.

BIBLIOGRAFIA

- BATES, R.L., Geology of the Industrial Rocks and Minerals. Dover Publications Inc. N.Y.459 p.
- BLATT, H. et all., 1972. Origin of Sedimentary Rocks. Prentice Hall. U.S.A.
- CROWSON, P. 1992. Minerals Handbook 1992-1993. Mac Millan Publishers Ltd.U.K. 319 p.
- CRUZ, J. y VARGAS, R. 1972. Informe sobre los Yesos en la Formación Rosablanca en la Mesa de Los Santos. Bol.Geol.20, 3. Ingeominas. Bogotá.
- DAVIS, L., 1987. Gypsum. Minerals Yearbook 1987. Bureau of Mines. United States Dept. of the Interior.
- DICKSON, T., 1993. Gypsum. Metals and Minerals Annual Review 1992-1993.
- MINERALCO, S.A. 1992. Estadísticas del Sector Minero.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 1992. Estadísticas del Sector Minero. Oficina de Planeación SIMES-DGM.
- MORSE, D.E., 1988. Gypsum. Minerals Yearbook 1988. Bureau of Mines. United States Dept. of the Interior.
- SHELDON, R. and RAUP, O., 1981. Genetic Understanding for Practical Applications, in: Mineral Resources Studies in Geophysics. Washington, U.S.A.
- U.S. BUREAU OF MINES-U.S.G.S. 1990. Mineral Commodity Summaries.
- WARD, D. y Otros, 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Bol. Geol. 21, 1-3. Ingeominas. Bogotá.

POTASA

Hernando Mendoza F. ⁽¹⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El potasio a pesar de ser componente de todas las rocas, no se encuentra en estado nativo. Se utiliza el término potasa para referirse a formas de sal de potasio soluble en agua. Químicamente se da el nombre de potasa al óxido de potasio K_2O (1% de K que equivale a 1,2046% K_2O).

El potasio comercial proviene de minerales sedimentarios hidrosolubles de origen evaporítico, en especial los cloruros silvita (KCl), y carnalita ($KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$).

Los principales recursos de potasa están localizados en el hemisferio Norte y equivalen aproximadamente a 250 billones de toneladas. Las mayores reservas se encuentran en Canadá y la Comunidad de Estados Independientes (CEI); reservas que a la presente tasa de consumo son suficientes para abastecer la demanda mundial durante varios cientos de años.

Las grandes explotaciones a nivel mundial se realizan por minería subterránea. El método de explotación de mayor uso en Canadá y otras partes del mundo, es el de cámaras y pilares, requiriéndose para las labores de arranque y transporte el uso de jumbos y otros equipos mineros de alta capacidad.

Hasta ahora no se han reportado depósitos de potasa en Colombia. Se han separado sales de potasio a escala de laboratorio a partir de aguas residuales en la producción de sal grano en Manaure, pero no se conocen resultados a escala industrial.

Estructura de la Industria

La Comunidad de Estados Independientes (CEI), es la principal productora mundial de potasa, seguida por Canadá y Alemania. En

(1) Geólogo MSc. Ingeominas Bucaramanga.

1992, tanto el consumo como la producción de potasa registraron una disminución, en gran parte atribuida al cambio de modelos económicos en los países productores. En Estados Unidos la industria de la potasa ha tenido que solicitar mayor protección estatal, a fin de poder competir con la industria canadiense. En el período 1991-1992 la CEI produjo el 33% del total de la producción mundial de potasa; mientras que Canadá y Alemania Federal participaron con el 27% y 14% respectivamente. Estados Unidos aportó el 6%.

En Latinoamérica, Chile y Brasil son los únicos países que durante 1992 produjeron potasa, 25.000 y 100.000 toneladas respectivamente.

Colombia, importa en su totalidad las sales de potasio necesarias para la industria agrícola y química. En 1990 se importaron 363.736,6 toneladas de sales de potasio (DANE, 1991).

Características del Mercado

Los compuestos comerciales de potasio son el cloruro de potasio (KCl), nitrato de potasio (KNO₃) y yoduro de potasio (KI). Estos diferentes compuestos se utilizan para la fabricación de abonos, vidrios, cerámica, jabones, detergentes líquidos, caucho, curado de carnes, pólvora, desinfectantes, antisépticos y colorantes entre otros.

Durante 1992 la industria canadiense y otras industrias mundiales de la potasa operaron con un porcentaje bajo de la capacidad instalada, con el fin de controlar los precios internacionales.

Estados Unidos, espera que para el año 2000 la demanda de óxido de potasio (K₂O) equivalente, alcance la cifra de 10,1 millones de toneladas. Más del 90% de la potasa producida en el mundo se usa como fertilizante, principalmente en la forma de cloruro de potasio. La función del potasio en las plantaciones es la de formar almidones y azúcares, favorecer el crecimiento y mejorar la calidad del fruto. La potasa actúa mejor cuando va combinada con otros fertilizantes.

Proyecciones

La capacidad de las minas de potasa en Estados Unidos no se ha incrementado a la misma tasa de la demanda, dado que grandes reservas de mena de potasa de alta calidad se encuentran a lo largo de la frontera con los canadienses. Además la capacidad de las minas de potasa canadiense fue planeada teniendo en cuenta el mercado americano.

Perspectivas de Desarrollo en el país

La escasa información estadística sobre consumo de potasa en Colombia, es una limitante para las proyecciones sobre demanda futura y las perspectivas de desarrollo.

SITUACION MUNDIAL

El potasio (K) se encuentra ampliamente distribuido en la superficie

terrestre, se estima un contenido medio de 2,6% hasta algunos km de profundidad. Aunque todas las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas contienen potasio, éste no se encuentra en estado nativo. Desde el punto de vista geológico minero y comercial se utiliza el término genérico potasa para referirse a cualquier forma de sal de potasio soluble en agua, que pueda ser producida, transportada y utilizada con beneficio económico, particularmente en el sector de la agricultura.

La potasa incluye, cloruro de potasio, sulfato de potasio, sulfato de potasio-magnesio y nitrato de potasio. Compuestos insolubles de potasio no tienen posibilidad de ser aprovechados económicamente.

Desde el punto de vista químico, la potasa se refiere al óxido de potasio (K₂O); compuesto, que ni ocurre en la naturaleza ni es producido comercialmente, es decir, en la potasa no hay K₂O, es simplemente un método para evaluar el cambio en el grado de pureza entre una forma de potasa y otra. Además, es un denominador común para los informes estadísticos que manejan datos relacionados con diferentes tipos de potasa.

La forma más común de potasa es el cloruro de potasio (KCl o muriato de potasa, abreviadamente MOP) con una pureza del 95%. Teóricamente, el KCl puro tiene un equivalente de 63,18% en K₂O, por lo que la pureza normal mínima esperada en los grados de fertilizantes debe ser de 60% de K₂O, equivalente al 95% de pureza del KCl.

El contenido de potasio de cualquier sal natural o artificial se expresa en términos de óxido de potasio, es decir debe ser recalculado a su equivalente de K_2O (1,0% de K equivale a 1,2046% de K_2O).

Aspectos Geológico-Mineros

El potasio es uno de los tres elementos junto con el nitrógeno y el fósforo que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Más del 90% de la potasa producida es utilizada como fertilizante.

AMBIENTE GEOLOGICO Y

TIPOS DE DEPOSITO.

El potasio es el séptimo elemento en abundancia en la naturaleza, está presente en los silicatos de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias; asimismo, es el mayor constituyente de muchas salmueras superficiales y subsuperficiales.

Los principales depósitos de sales solubles de potasio, se encuentran en formaciones de edad Devónica, en el Canadá; de edad Pérmica, en Estados Unidos, Reino Unido, Europa Central y antigua Rusia y de edad Terciaria, en España, Sicilia y Ucrania. La figura 1, muestra la localización de los principales depósitos de evaporitas y sales de potasio en el mundo.

Los yacimientos de potasa se presentan como capas de sal, formadas lentamente a lo largo de varios períodos geológicos, por evaporación de aguas en áreas poco profundas de antiguos mares. Un 5% de las reservas de potasa se encuentran en los

actuales lagos salados y en salmueras naturales formadas a partir de aguas lluvias que acumuladas conforman los lagos del Pleistoceno.

Las sales de potasio forman parte de las secuencias de evaporitas marinas, son comunes en muchos sitios de la corteza terrestre, algunos de los cuales han alcanzado grandes espesores. Asociadas a la potasa ocurren otras sales tales como: halita (sal gema), yeso, anhidrita y kieserita. La evaporación del agua de mar produce minerales carbonatados como primeros precipitados; a medida que avanza la evaporación la concentración de las salmueras conduce a la precipitación de sulfatos, cloruros y minerales supersalinos, incluyendo las sales de potasio y magnesio.

Geológicamente se reconocen dos tipos de cuencas estructurales en las cuales predominan las evaporitas marinas:

- Cuencas cratónicas formadas por movimientos epirogénicos.
- Grabens, comúnmente relacionados a sistemas de rift de margen continental.

Los depósitos de potasa en las cuencas cratónicas son generalmente de edad Paleozóica y se caracterizan por contener grupos de silvita y fases relacionadas a sulfato de potasio, comúnmente de origen diagenético o metasomático. Los depósitos formados en sistemas de rift de margen continental, están relacionados a las etapas tempranas de expansión cortical; son de edad triásica o más reciente y por lo general han experi-

mentado un menor metasomatismo post-depositacional. Los depósitos evaporíticos marinos de una u otra edad se encuentran en todos los continentes, excepto, posiblemente en la Antártida.

Los depósitos evaporíticos marinos están constituidos por secuencias de estratos regulares, las cuales pueden caracterizarse por las proporciones de los minerales que contienen, además por el color, textura y tamaño de grano. Se conocen estratos cartografiables que van desde pocos centímetros a varios metros de espesor, algunos ocupando áreas de gran extensión.

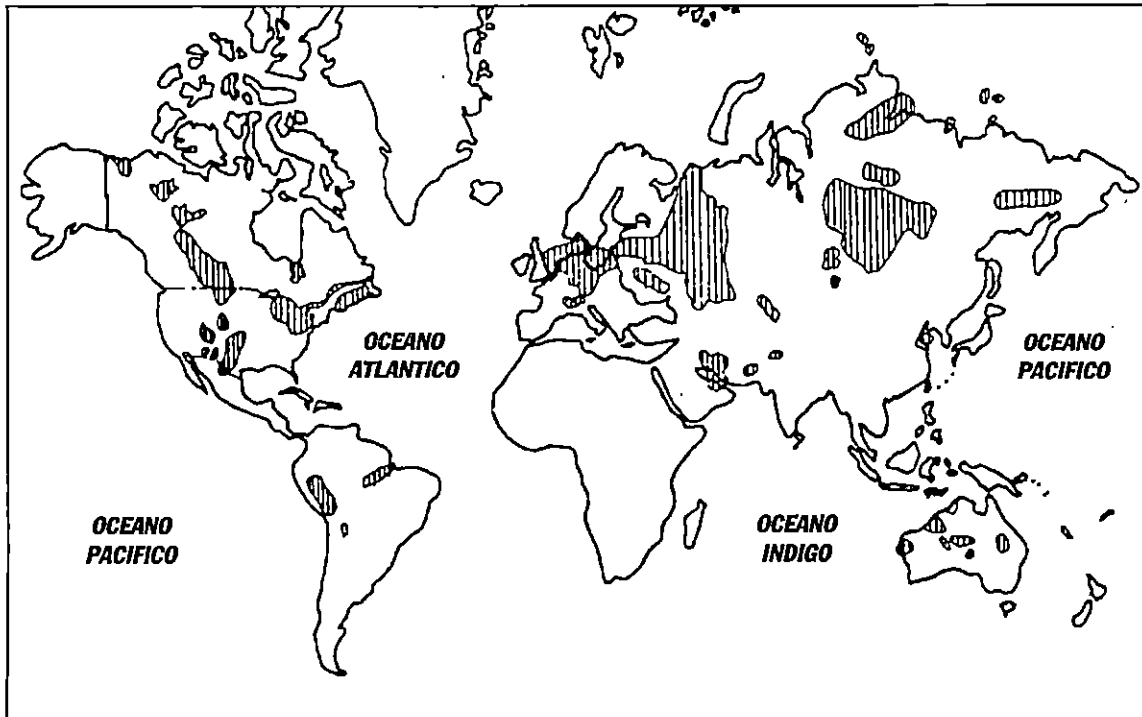
Los depósitos de potasa generalmente se presentan como cuerpos tabulares subhorizontales o como estratos plegados y fracturados, resultado de esfuerzos y procesos post-depositacionales.

La potasa canadiense, se descubrió durante la segunda guerra mundial, perforando para la exploración de petróleo en la provincia de Saskatchewan. A finales de los años cuarenta se delimitaron los ricos y extensos depósitos que se encuentran en el subsuelo del sureste de Saskatchewan. Después de algún tiempo y por problemas de inundación en los depósitos, la producción pudo reestablecerse en el año de 1962.

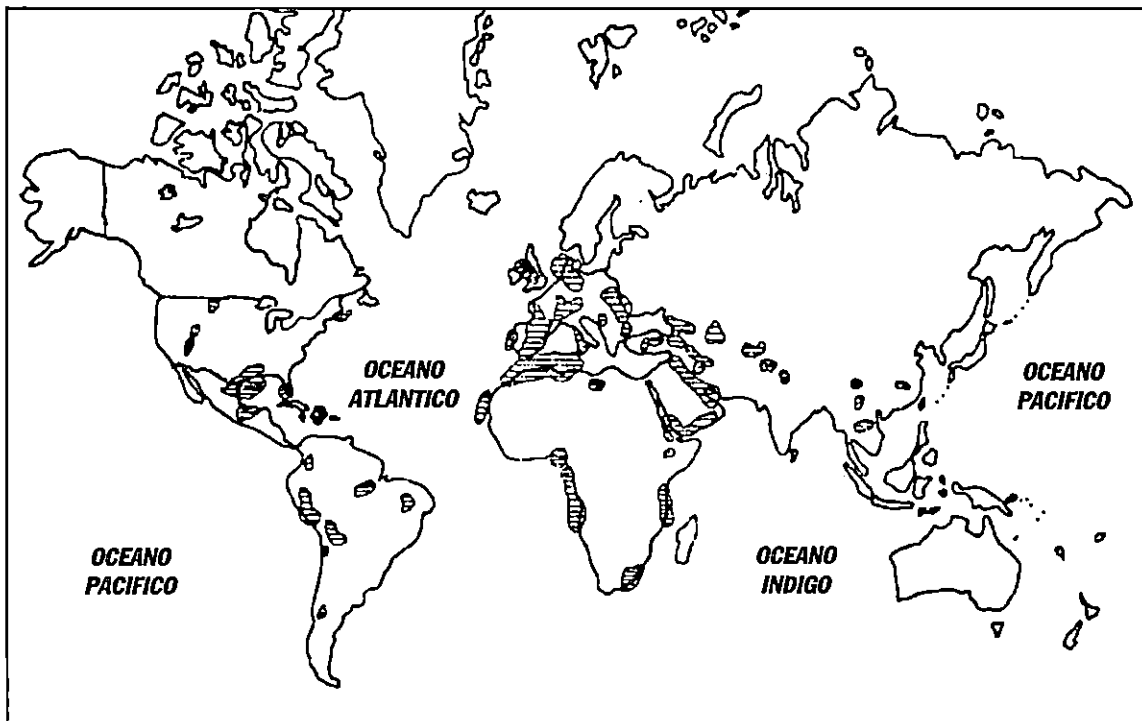
En Estados Unidos, los depósitos de potasa se localizan en el Distrito de Carlsbad, Nuevo México; hacen parte de una secuencia sedimentaria denominada Formación Salado. Esta unidad, con un espesor máximo de 480 metros, contiene cerca de 40 ca-

LOCALIZACION DE DEPOSITOS EVAPORITICOS Y DE POTASA EN EL MUNDO

Figura.1



Distribución aproximada de Depósitos de Evaporitas de edad Paleozóica y Proterozóica.



Distribución aproximada de Depósitos de Evaporitas de edad Mesozóica, Cenozóica y recientes.

Fuente: Industrial Minerals and Rocks, 1990.

pas de sulfatos (yeso, anhidrita y polihalita) y 45 capas de sal gema. Los horizontes ricos en potasa se localizan hacia la parte alta de la formación y a una profundidad que varía de 180 a 600 metros. La secuencia evaporítica contiene capas delgadas, principalmente de silvita mezclada con halita, y un poco de langbeinita y carnalita. Otro gran depósito es el de Searles Lake, uno de los mayores cuerpos de sales en superficie. Se trata de una gran llanura con sales cristalinas concentradas en un horizonte que alcanza un espesor de 20 metros en la parte central, 9 metros hacia los bordes y que cubre un área de aproximadamente 52 km².

En Canadá, los depósitos de potasa se encuentran a mayor profundidad (840 a 1.080 metros) que los de Carlsbad, y están localizados cerca al techo de la formación Evaporitas de Prairie de edad Devónico Medio. En un horizonte de sal con 200 metros de espesor se encuentran capas de 0,75 a 4,5 metros de espesor de silvinita con carnalita y silvita.

Importantes depósitos estratificados de sales de potasio se encuentran también en: Stassfurt, Alemania; Alsacia, Francia; al Noroeste de Barcelona, España; al Norte de los montes Urales, Rusia; en Yorkshire, Reino Unido; en China y en Polonia. Israel y Jordania poseen importantes reservas de potasa en las salmueras concentradas del Mar Muerto.

Se conocen más de 50 minerales que contienen potasio, pero sólo los minerales sedimentarios hidrosolubles de origen evaporítico, en especial los clo-

ruros Silvita y Carnalita, constituyen la mayor parte de la producción mundial de potasa para uso agrícola e industrial. La silvita (KCL) es el principal mineral fuente de potasio, sin embargo, la carnalita (KClMgCl₂·6H₂O) es el mineral primario más frecuente en los depósitos que contienen potasio; la silvita aparentemente se forma a partir de la carnalita.

Los principales minerales de sales de potasio, el contenido de potasio y el porcentaje de K₂O equivalente se muestran en la tabla 1.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Cerca del 95% de las reservas de potasa, están representadas en capas de sal existentes en secuencias de evaporitas marinas. A finales de los años setenta se mencionaban reservas mundiales de potasa más que suficientes para satisfacer la demanda hasta finales del siglo XXI.

Se estimaban reservas de 9.100 millones de toneladas métricas de K₂O y

los recursos de potasa en 135.400 millones de toneladas métricas de K₂O (Searls, 1980). A mediados de los años ochenta estas cifras fueron modificadas considerablemente y actualmente hacen parte de la reserva base (Reserve base) que incluye los siguientes recursos: demostrados, que son normalmente económicos (reservas); marginalmente económicos (reservas marginales) y aquellos recursos que normalmente son subeconómicos (recursos subeconómicos) (Searls, 1985).

Estados Unidos figuraba en 1980 con reservas de 300 millones de toneladas de K₂O y recursos de 5.700 millones de toneladas de K₂O. Actualmente las reservas económicas se estiman en 95 millones de toneladas y 360 millones como reserva base. Canadá, que en los años ochenta figuraba con reservas de 2.700 millones de toneladas y recursos de 64.300 millones de toneladas; ahora, con cifras recalculadas se le asignan reservas de 4.400 millones de toneladas de K₂O y reserva base de 9.700 millones de toneladas métricas de K₂O. A nivel mundial las

Tabla 1:
PRINCIPALES SALES COMERCIALES DE POTASIO

MINERAL	COMPOSICION	% DE K	% DE K ₂ O EQUIVALENTE
Silvita	KCL	52	63,17
Carnalita	KCLMgCl ₂ ·6H ₂ O	14	16,95
Silvinita	KCL+NaCL		10-30
Kainita	KCLMgSO ₄ ·3H ₂ O	16	19,26
Langbeinita	K ₂ SO ₄ ·MgSO ₄	18	22,69
Nitro	KNO ₃		46,59

Fuente: Mineral Facts and Problems, 1985 Edition.

Tabla 2.
RESERVAS Y RESERVA BASE DE POTASA EN EL MUNDO
 (millones de toneladas métricas de K₂O equivalente)

	RESERVAS	RESERVAS BASE
Norteamérica		
Canadá	4.400	9.700
Estados Unidos	95	360
Europa		
Antigua Rusia	3.000	3.800
Alemania Unificada	1.300	1.600
Asia		
China	200	—
Tailandia	—	1.100
Suramérica		
Brasil	60	400
Chile	10	50
Otros	35	—
TOTAL MUNDIAL	9.100	17.010

Fuente: Modificado de Mineral Facts and Problems, 1985 Edition.

reservas se estiman en 9.100 millones de toneladas de K₂O y la reserva base en 17.010 millones toneladas (Tabla 2).

TIPOS DE MINERIA

La explotación de la potasa se realiza principalmente por minería subterránea. En Estados Unidos y en la antigua Rusia el método más empleado es el de cámaras y pilares. La Silvinita, una sal de potasio y sodio KCl+NaCl es la mena más abundante; al ser relativamente blanda y fácil de romper, permite el uso de equipos similares a los utilizados en la minería del carbón, es decir equipos tipo jumbo y rotativos con ligeras modificaciones. En algunas minas de Canadá donde las capas son planas subhorizontales, se trabaja en amplias galerías, y con sólo 2 operarios por máquina se producen 12 toneladas de mena por minuto.

El 90% de la producción de Estados Unidos proviene del Suroeste de Nuevo México, allí se trabajan seis minas y se extrae material con un contenido promedio de 14,6% K₂O. La minería es subterránea; se explota por el método de cámaras y pilares, y corresponde a un sistema altamente mecanizado. Inicialmente la recuperación de material minado fue de 50 a 60%, ahora con nuevos diseños en los sistemas de pilares, se recupera casi el 90% y las capas del techo sólo sufren hundimiento gradual sin que lleguen a romperse.

Gran parte de la minería en los depósitos del Canadá presenta dificultades, y uno de los motivos que la hacen más costosa se debe a que los pozos que se abren para llegar a los depósitos, (shaft sinking), tienen que atravesar varios niveles de arenas acuíferas.

En la minería por solución, el proceso demanda un estricto control y procedimientos especiales, algunos de ellos considerados confidenciales por las compañías explotadoras.

Se realiza minería por solución cuando las capas de potasa son muy irregulares y cuando la profundidad del depósito es mayor de 1.100 m. A esta profundidad se generan problemas por deformación plástica de las capas de sal. En otros casos, la minería por solución da buen resultado si las capas alcanzan espesores cercanos a los 15m y presentan suficiente inclinación.

Para concentrar sales de potasio y preparar sales comerciales (potasa), se aprovecha la propiedad de la solubilidad relativa del cloruro de sodio y el cloruro de potasio en soluciones saturadas y a temperaturas variables. Actualmente se benefician sales de charcas por evaporización solar y flotación, procedimiento que permite separar la silvita de la sal gema.

Estructura de la Industria

MATERIA PRIMA

En la naturaleza, las sales de potasio contienen impurezas principalmente como cloruro de sodio, algo de arcilla y los óxidos de hierro que usualmente dan la coloración rosado-rojo a la silvita. Por ser la silvinita la sal más frecuente, se requiere de un proceso de beneficio que permita separar la silvita de la halita y de la arcilla asociada, lo cual se consigue por métodos de flotación y por cristalización fraccionada en solución.

Usualmente la silvinita es triturada para liberar las partículas de silvita y halita del aglomerado. En la flotación la silvita es separada de la halita en una solución acuosa saturada con cloruros de sodio y potasio. Por este método se recupera más del 80% de la potasa y la densidad de la pulpa llega a tener 20-35% de sólidos.

PRODUCTOS SEMIELABORADOS

Se mencionó que el cloruro de potasio KCl, también denominado muriato de potasa o como MOP es la forma más común de potasa. Otras formas de potasa que son aplicadas en cultivos sensibles al cloro o en suelos ricos en cloruro de hierro, son el mineral natural langbeinita, teóricamente con 22,69% de K_2O equivalente y dos compuestos manufacturados, el sulfato de potasio (SOP), teóricamente con 54,05% de K_2O equivalente y el nitrato de potasio, teóricamente con 46,58% del K_2O equivalente.

En Estados Unidos, cerca del 94% de la potasa se usa para fertilizantes en agricultura, en forma de nitrato o MOP. El 6% restante se destina a usos industriales diferentes a la agricultura. El cloruro de potasio comercializado internacionalmente o MOP, contiene 60-61% de K_2O equivalente.

La potasa es comercializada en las siguientes formas:

- Como cloruro de potasio (KCl), a partir de silvita, principal mineral natural de valor económico.
- Como sulfato doble de potasio y magnesio ($2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$) mineral conocido como langbeinita.

- Como sulfato de potasio (K_2SO_4) conocido como SOP, el cual se puede producir de diferentes maneras.

- Como nitrato de potasio (KNO_3) el cual se obtiene por diferentes métodos, uno de ellos, por reacción de cloruro de potasio con ácido nítrico.

Una forma de reciclar potasio y otros nutrientes en los suelos es esparciendo el estiércol de animales, aunque como fertilizante es bajo en nutrientes. Otras fuentes alternas son las arenas verdes glauconíticas seleccionadas, que contienen 5-10% de K_2O equivalente; son de uso local y se aplican directamente al suelo, sin embargo se consideran nutrientes de baja acción. La carnalita y la polihalita también se pueden usar pero a costos mucho mayores.

Como nutriente para las plantas y animales no se conoce sustituto del potasio. En usos industriales la potasa puede ser reemplazada por compuestos de sodio, dependiendo de factores tales como costos, disponibilidad y demanda. Una fuente potencial de sulfato de potasio es a partir de alunita, como subproducto en la producción de alúmina, proceso que aún no es comercial y en el cual se trabaja en plantas piloto en Utah (USA) y en la antigua Unión Soviética.

A nivel mundial cerca del 70% de la capacidad de producción de potasa es controlada por los respectivos gobiernos. En algunas oportunidades, Estados Unidos ha tenido que invocar medidas proteccionistas para la industria de la potasa, frente a los com-

petidores canadienses. Las dificultades se deben principalmente al incremento en los costos de minería y de beneficio.

Características del Mercado

El comportamiento de la oferta-demanda durante la última década, demuestra que la industria de la potasa es cíclica. Estados Unidos no incluye la potasa en la lista de materiales estratégicos y críticos, sin embargo, en sentido amplio, la potasa se debe considerar como mineral estratégico por ser un nutriente esencial para los cultivos y fertilidad del suelo, sin lo cual no sería posible garantizar el suministro oportuno del recurso agrícola básico en la alimentación del ser humano. En 1994 la industria de fertilizantes uso más del 85% de la potasa vendida y la industria química el 15%; cerca del 70% de la potasa de Estados Unidos se produjo como muriato de potasa.

OFERTA

La producción de la potasa se encuentra en manos de pocos países, donde sobresalen las naciones industrializadas. Europa Oriental (incluye la comunidad de Estados Independientes CEI y la antigua Alemania Democrática) es la mayor área productora, seguida por Norteamérica (Canadá y Estados Unidos), Europa Occidental (Alemania Federal y Francia) e Israel.

Para 1992 la producción mundial de potasa en términos de K_2O equivalente, se estimó en 23,9 millones de

toneladas métricas, lo que representa una disminución del 8% respecto a la producción de 1991. Con una capacidad minera del orden de 36 millones de toneladas de K₂O equivalente, se deduce que la utilización fue tan sólo del 66%, situación que ha incidido

para que se mantenga el control en los precios de la potasa. En 1994 la producción mundial se estima en alrededor de 22 Mtm de potasa.

En la antigua Alemania Democrática fueron cerradas cinco pequeñas mi-

nas, lo mismo que otra localizada en los Urales. La tabla 3, registra la producción de potasa por países para el período 1989-1994 y la figura 2 ilustra gráficamente la variación de la producción en el período 1979-1991.

Para 1993 Estados Unidos esperaba una producción de 1,8 millones de toneladas de potasa.

En Suramérica, la potasa se produce en Chile donde se extrae el nitrato de potasio en estado natural (salitre). Se trata de una sal en bruto mezclada con nitrato de sodio y un contenido de 14% de K₂O equivalente. En Brasil se desarrolla el proyecto Fazendinha con una capacidad de 1,5 millones de toneladas/año, de nitrato de potasio y reservas estimadas en 570 millones de toneladas de silvita. En Arari a 40 Km del sitio anterior, se han estimado reservas de 600 millones de toneladas de silvita.

Argentina desarrolla el proyecto de El Salar de Hombre Muerto donde se producirá muriato de potasio y sulfato de potasio. En Bolivia, la Lithium Corp. of America proyecta desarrollar el Salar de Uyuni, la llanura de sal más grande del mundo, instalando una planta de 7.000 toneladas/año. Estudios preliminares indican que las salmueras contienen reservas de 5,5 millones de toneladas de litio; 110 millones de toneladas de potasa y 3,2 millones toneladas de boro.

DEMANDA

El mayor consumo de potasa se presenta en los países desarrollados de Norteamérica, Europa y la CEI, que

Tabla 3.
PRODUCCION MUNDIAL DE POTASA EN EL PERIODO 1989-1994
(en miles de toneladas de K₂O equivalente)

PAIS	1989	1990	1991 _p	1992 _e	1993	1994
Estados Unidos	1595	1654	1692	1650	1506	1425
Brasil	98	68	100	45	173	255
Canadá	7333	7002	7405	7245	6841	7600
Chile	10	20	38	35	55	55
China	40	60	98	100	25	25
Francia	1195	1292	1129	1150	1000	950
Alemania Unificada	5386	4850	3902	3470	3250	3000
UK	463	488	494	530	550	560
Italia	152	68	31	120	0	0
España	742	686	585	580	660	600
Israel	1270	1311	1270	1290	1342	1350
Jordania	792	842	818	790	822	820
CEI ¹	10200	9088	8562	6900	2597	2800
TOTAL MUNDIAL	29276	27429	26125	23905	21000	22000

Fuente: Metals and Minerals Annual Review 1992 and 1993, E&MJ Marzo 1995 e= Estimado1= Comunidad de Estados Independientes p= preliminar.

PRODUCCION MUNDIAL DE POTASA (PERIODO 1979 - 1991)

Figura 2



Fuente: Crowson P. 1992.

en conjunto alcanzan el 75% de la demanda mundial de fertilizantes. En los últimos 3 años el consumo de potasa ha disminuido de 28 millones de toneladas métricas de K₂O en 1989 a menos de 23 millones de toneladas métricas de K₂O en 1992.

La disminución se atribuye principalmente a la transición por la que pasan Europa Oriental y la antigua Rusia, a cambios en las políticas agrarias y a regulaciones ambientales sobre el uso de fertilizantes.

PRECIOS

El precio internacional FOB Vancouver para producto grado estándar estuvo en 1992 en el rango de US\$109-114/tonelada de KCl. En cierto modo se ha tratado de establecer una especie de "cartelización" del mercado de la potasa, controlado principalmente por Canadá. En 1988 por problemas de inundación en varias minas canadienses, se bajó la producción y el precio subió a US\$132/tonelada de KCl.

En los Estados Unidos, los precios corresponden a promedios para la tonelada métrica de KCl y el nitrato de potasa granular. A pesar de que importa cerca del 70% del consumo aparente, también exporta cerca del 25% de su producción. La principal razón para esta importación-exportación es el costo de transporte. Toda la región occidental de Estados Unidos, se abastece de la potasa proveniente de Saskatchewan (Canadá), y a su vez las regiones de Centroamérica y Suramérica son abastecidas con la potasa de Estados Unidos que resulta más barata que la canadiense. De una cantidad cercana a un millón

de toneladas métricas que Estados Unidos exporta, el 60% tiene como destino Suramérica, siendo Colombia el segundo mayor importador después de Brasil. La figura 3 ilustra gráficamente la variación de precios en el período 1979-1991.

Proyecciones

Para los próximos años se espera que la demanda de potasa se incremente en la China, siempre y cuando el Gobierno de prioridad a la producción agrícola. Un comportamiento similar se espera en países como India, Japón, Malasia y Brasil.

El consumo mundial aparente, para la década de los años ochenta, registró un aumento significativo, pasando de 24 millones de toneladas métricas en 1982 a 31 millones de toneladas en 1988. A partir de este año, el consumo mundial ha disminuido paulatinamente y es así como en 1991 la demanda aparente fue de sólo 25 millones de toneladas métricas. La tabla 4 registra el volumen de con-

sumo mundial de potasa en el período 1980-1991.

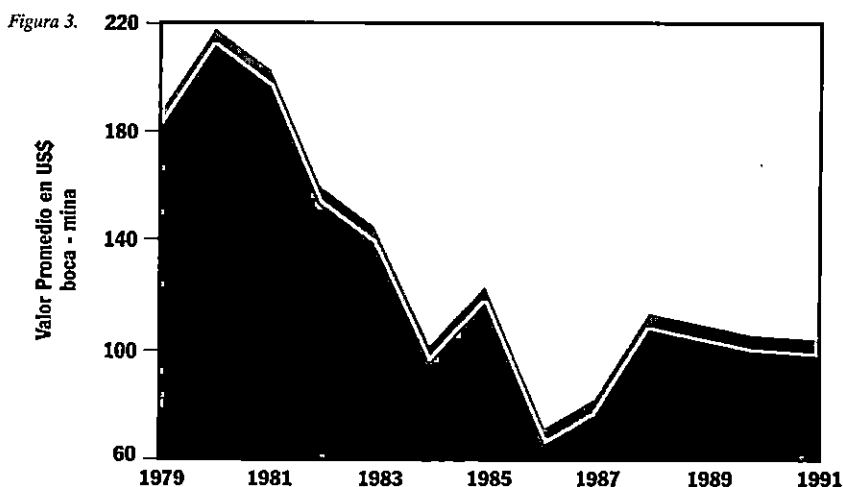
La figura 4, ilustra el comportamiento en el consumo aparente de Potasa considerando los países por regiones y por economías.

Tabla 4
CONSUMO MUNDIAL DE POTASA

AÑO	VOLUMEN (1000 tmk ₂ O)
1980	27.000
1981	25.000
1982	24.000
1983	25.000
1984	26.000
1985	27.000
1986	27.000
1987	30.000
1988	31.000
1989	28.000
1990	27.000
1991	25.000

Fuente: E&MJ, Marzo 1993.

PRECIOS REALES DE LA POTASA (PERIODO 1979 - 1991)



Fuente: Crowson P. 1992.

Del análisis de la figura 4 se deduce que en el grupo de economías de países desarrollados (Europa occidental, Norteamérica, Japón, Israel y República de Suráfrica) el consumo de potasa ha estado disminuyendo a un promedio de 130.000 toneladas métricas por año, mientras que en las economías de países en desarrollo (Latinoamérica, Africa y Asia) se registra un incremento de aproximadamente 245.000 toneladas métricas por año. Por tanto es posible esperar que el consumo de la potasa siga registrando un comportamiento impredecible en el futuro.

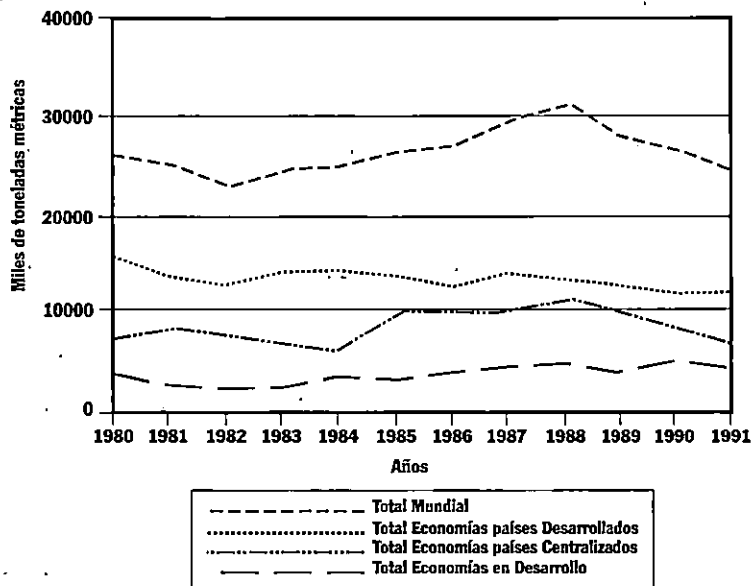
Para el año 2000 se estima que la demanda de potasa en Estados Unidos estará entre 6,5 y 10 millones de toneladas métricas. Partiendo de una demanda acumulada de 110 millones de toneladas en el período 1983-2000, se encuentra que las reservas de 95 millones de toneladas serán insuficientes; razón por la cual será necesario acudir a una evaluación de las reservas de las compañías mineras. Cuando éstas agoten sus reservas y si los precios no mejoran, parte de las reservas submarginales pasarán a la categoría de reserva base y el futuro seguirá siendo incierto.

De cualquier manera, Estados Unidos continuará siendo un neto importador de potasa. En 1992 el mercado de la potasa en Estados Unidos, considerando la producción de 6 minas de Nuevo México (83% del total producido) se valoró en US\$325 millones a precio FOB en boca de mina.

La tabla 5 registra el comportamiento en los últimos cinco años del mer-

CONSUMO APARENTE DE POTASA (miles de toneladas de K₂O)

Figura 4.



Fuente: Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (Tomado de E&MJ, Marzo, 1993)

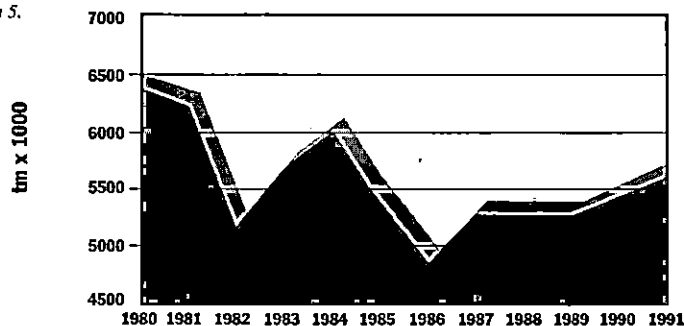
Tabla 5
ESTADÍSTICA DEL MERCADO DE LA POTASA EN ESTADOS UNIDOS
(miles de toneladas)

ITEM	1988	1989	1990	1991	1992e
Producción	1.521	1.595	1.713	1.749	1.760
Importación	4.217	3.410	4.164	4.527	4.300
Exportación	380	446	470	624	650
Consumo	5.264	4.500	5.463	5.612	5.390
Existencias	248	307	303	343	360

Fuente: Bureau of Mines. Mineral Commodity Summaries. Department of Interior. 1993.
e= Estimado.

CONSUMO APARENTE DE POTASA EN ESTADOS UNIDOS (PERIODO 1980 - 1991) (miles de toneladas de K₂O)

Figura 5.



Fuente: Engineering and Mining Journal. March, 1993.

cado de la potasa en Estados Unidos y la figura 5 la variación del consumo aparente de potasa en el período 1980-1991.

Actualmente y con base en los resultados de las negociaciones del GATT (General Agreement on Tariffs and Trade) se espera una mayor demanda de potasa por parte de los agricultores americanos.

NIVEL NACIONAL

No se conocen depósitos de potasa, ni se registra producción alguna en el país. Aunque existen ambientes geológicos favorables para sales de potasio, el potencial es incierto, situación que amerita una investigación geológica preliminar.

En Colombia únicamente se mencionan manifestaciones que contienen compuestos glauconíticos de potasio en las areniscas de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá); en suelos neo-volcánicos de la Cordillera Central y en pequeñas concentraciones de nitro y salitre en algunos sectores de Santander y Boyacá.

Es bien conocido que la prospección y exploración de sales de potasio, está restringida a los análisis de los núcleos de perforación obtenidos en la búsqueda de depósitos de sal y de petróleo. En la exploración regional de depósitos de evaporitas son importantes los análisis químicos a las fuentes saladas que se encuentren. Los compuestos de potasio son esen-

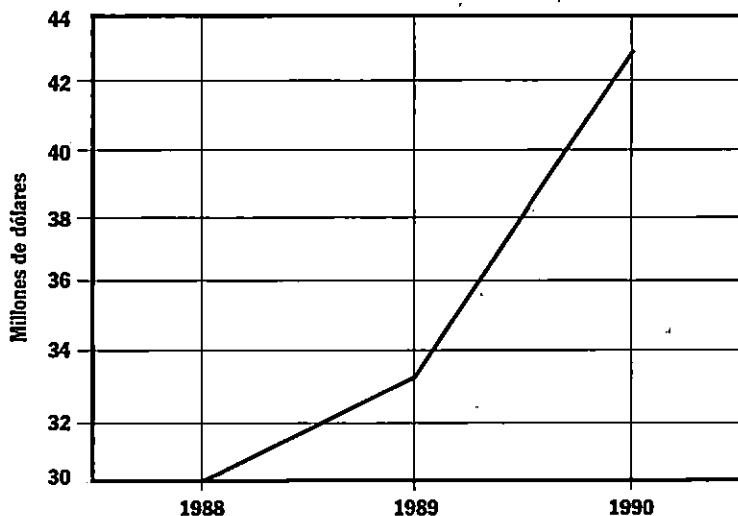
Tabla 6
IMPORTACION DE SALES DE POTASIO PERIODO 1988 - 1990
(miles de kg)

COMPUESTO	1988	1989	1990
Clorato de Potasio	388,07	580,17	679,6
Cloruro de Potasio	241.791,0	239.050,0	341.698,0
Sulfato de Potasio	5.044,0	8.048,0	6.118,0
Sulfato de Magnesio Potasio	10.402,88	8.224,0	15.241,0
TOTAL	257.526,00	255.902,17	363.736,60

Fuente: DANE. Anuario de Comercio Exterior 1988, 1989, 1990

VALORES DE LAS IMPORTACIONES DE SALES DE POTASIO (PERIODO 1988 - 1990)

Figura 6.



Fuente: Crowson P. 1992.

ciales para mantener y aumentar la producción agrícola del país. La mayor demanda de sales de potasio importadas se presenta en a las empresas agroindustriales. Según registros del DANE, la mayor cantidad importada corresponde al cloruro de potasio (Tabla 6). El valor de las importaciones de sales de potasio, en el período 1988 - 1990 se presenta gráficamente en la figura 6.

Después del descubrimiento y desarrollo de los inmensos depósitos de potasa en Canadá, disminuyó el interés mundial por explorar nuevos depósitos. La decisión de adelantar en Colombia algún proyecto sobre potasa, debería estar sustentada por estudios de mercados, costos, rentabilidad, métodos de beneficio, impacto ambiental y social y de otros factores complementarios que de-

muestren la prioridad y justificación de la propuesta.

RECOMENDACIONES

El potencial de la potasa en el país es incierto y la demanda es completamente abastecida por las importaciones, principalmente desde Estados Unidos. A corto y mediano plazo, no se tienen perspectivas para un posible desarrollo de este recurso mineral.

A largo plazo se recomienda un programa de prospección sistemática, particularmente en las formaciones sedimentarias del Cretácico en los departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca.

Además, el país cuenta con sitios favorables y excelente ubicación geográfica (Costa Atlántica, regiones de Manaure y Bahía Honda en la Guajira) donde se dispone de una fuente inagotable de sal gema y otras sales (de potasio y magnesio) que se pueden producir a partir de las salmueras residuales. Parte de la demanda interna, bien podría ser atendida de esta manera.

El uso combinado de herramientas como la cartografía geológica, análisis facial, geoquímica, estudio de núcleos de perforación y geofísica, suministran el grado de información que permitiría delimitar en el subsuelo, las formaciones con los diferentes tipos de sales.

En una fase de investigación prelimi-

nar es preciso dar especial atención a los análisis geoquímicos de fuentes saladas y salmueras. El descubrimiento de los depósitos de potasa en Tailandia se atribuye a métodos geoquímicos en los que se utilizó el bromo como elemento indicador.

En las perforaciones para petróleo y depósitos de sal, se recomienda combinar los siguientes registros:

- Curva de rayos gamma.
- Registro de densidad total.
- Registro sísmico.

De todos modos, la industria nacional y especialmente la agroindustria, tendrá que seguir dependiendo a corto y mediano plazo de las importaciones.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Principales Sales Comerciales de Potasio.
TABLA 2. Reservas y Reserva Base de Potasa en el Mundo.
TABLA 3. Producción Mundial de Potasa en el Período 1989-1994.
TABLA 4. Consumo Mundial de Potasa.
TABLA 5. Estadística del Mercado de la Potasa en Estados Unidos.
TABLA 6. Inportación de Sales Potasio.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Localización de Depósitos Evaporíticos y de Potasa en el Mundo.
FIGURA 2. Producción Mundial de Potasa (Período 1979-1991).
FIGURA 3. Precios Reales de la Potasa (Período 1979-1991).
FIGURA 4. Consumo Aparente de Potasa.
FIGURA 5. Consumo Aparente de Potasa en Estados Unidos (Período 1980-1991).
FIGURA 6. Valores de las Importaciones de Sales de Potasio (Período 1988-1990).

BIBLIOGRAFIA

- BARRY, G. S., 1992. Potash in: Metals & Minerals Annual Review 1992.
- BATES, R. L., 1969. Geology of the Industrial Rocks and Minerals. Dover Publications, Inc. New York. 459 p.
- DANE. Anuario de Comercio Exterior. Años 1988-1989-1990.
- DEAN, W. E., 1978. Trace and Minor Elements in Evaporites. Section 5 in: Dean & Schreiber B eds. Marine Evaporites. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Short Course.
- ELLIOT, A., 1990. Potash in: Engineering & Mining Journal, March, 1990.
- HARRINGTON, J., WARD, D. and MCKELVEY, V., 1966. Sources of Fertilizer Minerals in South America. A preliminary Study. Geol. Surv. Bull.1240.
- IEC - INTEGRAL 1985. Un Plan Minero para Colombia.
- LEWIS, R. W., 1970. Potassium in: Mineral Facts and Problems. Bureau of Mines Bulletin 650. USA.
- RUHLMAN, E. R., 1960. Potash in: Industrial Minerals and Rocks. Third Edit AIME. USA. 934. p.
- SEARLS, J. P., 1993. Potash in: Engineering & Mining Journal, March 1993.
- SEARLS, J. P., 1990. Potash in: Minerals Yearbook-1988 and 1989.
- SEARLS, J. P., 1985 Potash in: Mineral Facts and Problems 1985 Edition.
- SPOONER, J., 1993. Potash in: Metals & Minerals Annual Review 1993.



AZUFRE

Hernando Mendoza I. ⁽¹⁾

Alfredo E. Cure ⁽²⁾

RESUMEN

Aspectos Geológico-Mineros

El azufre es un elemento de amplio uso industrial. Está asociado a rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, así como también a combustibles fósiles. Se usa principalmente en la producción de ácido sulfúrico, en la elaboración de abonos, sustancias químicas, explosivos, insecticidas, detergentes, fibras sintéticas y pinturas.

Los depósitos de azufre nativo más representativos se encuentran asociados a domos de sal y rocas volcánicas sin consolidar. Otras fuentes importantes de azufre son los sulfuros metálicos, el gas natural, el petróleo y las arenas de alquitrán.

De los 1.300 Mt de reservas mundiales identificadas, Estados Unidos posee 155 Mt (12% del total). Las mayores reservas de azufre se encuentran en los depósitos de gas natural del Medio Oriente, antigua Unión Soviética, Canadá y USA. Además, se cuenta con importantes depósitos de azufre nativo en Polonia, antigua Unión Soviética, México y USA.

El azufre en Colombia proviene de yacimientos volcanogénicos y de la refinación de crudos de petróleo. Prospectos de azufre nativo se encuentran en los departamentos del Cauca, Tolima y Nariño. Otras manifestaciones de poco valor económico están asociadas a rocas sedimentarias cretáceas en el Departamento de Cundinamarca. La única mina productora de azufre es El Vinagre, localizada en el flanco NE del volcán de Puracé, de donde se extrae un 80% de la producción nacional.

El proceso Frasch es el método más utilizado para obtener el azufre de los depósitos asociados a domos de sal, como ocurre en la costa del Golfo de México y en los depósitos estratificados de azufre nativo, en Polonia, Iraq, antigua Unión Soviética y Oeste de Texas.

(1) Geólogo MSc., Ingeominas Bucaramanga.

(2) Mineralco S.A.

Los depósitos de azufre en los que no se puede utilizar el proceso Frasch, se obtiene aplicando minería de superficie y subterránea.

Estructura de la Industria

El azufre, a diferencia de otros minerales industriales, es más utilizado como químico reactante que como componente de productos terminados, es decir, primero se le debe convertir en ácido sulfúrico, que es el más importante de los productos intermedios. Más del 80% del azufre mundial se usa en la producción de ácido sulfúrico, muy utilizado en la industria de refinación de petróleo y de materiales plásticos y sintéticos. En Estados Unidos el azufre es muy importante para la elaboración de fertilizantes fosfatados. La producción mundial de ácido sulfúrico se estima en 150 Mt, de las cuales un 57% a partir de azufre, 20% de piritas asociadas a sulfuros y 23% de los gases de la fundición. En Chile, donde las fundiciones disponen de avanzada tecnología para producir ácido sulfúrico en forma económica, la estrategia consiste en identificar los mercados significativos de exportación. Al respecto, Colombia no es considerado un mercado atractivo dado su bajo volumen de consumo (282.000 t/año) y que el déficit sea de apenas 108.000 toneladas/año.

Características del Mercado

En 1992 la producción mundial de azufre en todas las formas (SAF) fue

de 55,4 Mt, una disminución de un 10 Mt respecto a 1991. El 43% de azufre se obtuvo de yacimientos naturales, 46% de hidrocarburos y 11% de las fundiciones de compuestos sulfurados. Estados Unidos continúa siendo el mayor productor y consumidor de azufre y de ácido sulfúrico. El 63% de la demanda de azufre (SAF) fue para producir fertilizantes. En 1994 la producción mundial de azufre SAF se estima en 51,3Mtm.

Si para los proveedores de azufre, 1992 fue un año desastroso, pues el descenso en el precio se aceleró hasta llegar al nivel más bajo en los últimos 15 años, 1993 fue catastrófico ya que el precio fue más bajo en los últimos 20 años. Los canadienses registraron una caída de precio hasta del 50%.

La producción anual promedio de azufre en Colombia es de 31.500 toneladas y una cantidad similar se está importando. Las reservas probadas alcanzan 5'601.000 toneladas métricas.

El azufre obtenido por refinación del petróleo es producido por ECOPEPETROL en la planta de Barrancabermeja, la cual cuenta con una capacidad instalada de 12 mil t/año. En 1992 entró en operación la planta de azufre de Cartagena con una producción inicial de 3.600 toneladas. Actualmente ECOPEPETROL produce cerca de 10.000 t/año, para lo cual aplica el sistema de oxidación catalítica del sulfuro de hidrógeno (H₂S) proveniente de los gases de ruptura. Con ese proceso se obtiene un azufre de alta pureza (99.98%) en base seca.

Colombia utiliza más del 90% del azufre producido e importado en la fabricación de ácido sulfúrico. Un porcentaje muy bajo se usa directamente en la vulcanización del caucho, en la industria de la pólvora y en aplicación a suelos agrícolas.

Proyecciones

La tendencia mundial de sustituir el azufre nativo por el petroquímico, en un contexto de competitividad y libre comercio, permite suponer que el azufre no es un recurso prioritario que amerite incluirse en un plan minero de exploración nacional.

La producción mundial de azufre recuperado de la refinación de petróleo alcanzó a 11,7 Mtm, un incremento real de 40% desde 1985. Por el contrario, en los últimos 15 años la producción de azufre elemental, obtenido por minería ha pasado de un 50% del total de producción a sólo un 15% en 1994

El azufre proveniente de yacimientos volcánicos, generalmente es extraído a un alto costo, de tal suerte que la explotación de este tipo de depósitos, solamente es factible cuando las condiciones del mercado le fijan un precio que permite excedentes rentables.

Perspectivas de Desarrollo en el País

Un análisis sobre pronóstico de la demanda interna futura demuestra, que aún considerando el efecto en la demanda que podrían tener proyectos co-

mo los de industrializar la roca fosfórica parcialmente acidulada y el montaje de una planta de ácido fosfórico para producir tripolifosfato sódico y fosfato bicálcico, la demanda para el año 2000 se incrementaría en 25% considerando una tasa de crecimiento promedio anual de 2,5%.

Además la tendencia a la baja en los precios internacionales del azufre, hace más difícil emprender nuevos proyectos mineros en los próximos años.

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

El azufre es el décimo tercer elemento en abundancia en la corteza terrestre con aproximadamente el 0,06% de la misma. Tiene un peso específico de 2,07 y un peso atómico de 32,06. Presenta una coloración amarilla pero por presencia de impurezas puede ser naranja-rojizo, café, verde, amarillo-grisáceo o negro.

Como mineral es translúcido, dúctil, posee lustre resinoso, raya amarilla y fractura concoide a irregular. Funde a 113°C, su punto de ebullición es de 440°C, es insoluble en agua y en la mayoría de ácidos, aunque también, es soluble en CCl_4 y CS_2 . El azufre puede contener pequeñas cantidades de selenio y telurio, además de arcilla e hidrocarburos.

El azufre se encuentra en forma elemental (nativo) o combinado con otros elementos formando sulfuros,

sulfatos y compuestos orgánicos. Se encuentra asociado a rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como en los combustibles fósiles.

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

Los depósitos de azufre se pueden agrupar según Shelton, (1980) en los siguientes tipos:

Depósitos de Azufre Elemental o Azufre Nativo. Se presentan asociados a: 1. Capas de anhidrita que se encuentran en el techo y flancos de los domos salinos; 2. Anhidrita estratificada o yeso formado en cuencas evaporíticas; 3. Material volcánico sin consolidar. En los domos de sal y evaporitas estratificadas se asume que el azufre se formó por reducción del hidrocarburo de la anhidrita mediante acción bacteriana. El azufre volcánico proviene del escape y reacción que ocurre entre el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el dióxido de azufre (SO_2).

Grandes depósitos sobre domos salinos se explotan en la región costera del Golfo, en México y Estados Unidos. También se trabajan depósitos importantes en evaporitas en el Oeste de Texas, en Polonia, la antigua Unión Soviética e Irak. Estos depósitos constituyen la principal fuente de azufre elemental. La mayor parte del azufre volcánico se localiza en el cinturón Circumpacífico, sin embargo sólo aporta una cantidad menor del azufre mundial.

Depósitos Asociados a Sulfuros Metálicos. Se recupera azufre a partir de: 1. Sulfuros ferrosos (pirita,

marcasita y pirrotita) que aunque contienen cantidades menores de minerales no ferrosos, son explotados y procesados por su contenido de azufre; 2. Sulfuros de metales no ferrosos procesados por su contenido de dichos metales y la posible recuperación secundaria del contenido de azufre. Estos depósitos casi siempre son de origen hidrotermal. Los depósitos piritosos fueron importantes fuentes primarias de azufre mundial y los sulfuros de metales no ferrosos han sido importante fuente como coproducto.

Depósitos Asociados a Sulfatos. El azufre se encuentra en depósitos estratificados de yeso y anhidrita. En Europa son una de las principales fuentes de azufre y particularmente se procesan para producir ácido sulfúrico. A pesar de existir la tecnología adecuada, su explotación no es económica en la actualidad.

Depósitos en Gas Natural. El sulfuro de hidrógeno gaseoso (H_2S) se encuentra como componente de los depósitos de gas natural, de donde debe removerse antes de su comercialización. Como coproducto, el azufre elemental recuperado de gas natural se está convirtiendo en importante fuente a nivel mundial. Grandes depósitos de gas natural se encuentran en Canadá, Medio Oriente, Estados Unidos, Francia, Alemania, Venezuela y la antigua Unión Soviética.

Depósitos Asociados a Petróleo y Arenas de Alquitrán. En el petróleo y arenas de alquitrán se encuentran compuestos complejos de azufre orgánico. Durante el proceso de refi-

Tabla 1.
RESERVAS Y RESERVA BASE DE AZUFRE EN EL MUNDO
 (Millones de toneladas métricas)

	RESERVAS	RESERVA BASE ¹
Estados Unidos	155	175
Canadá	150	300
Latinoamérica	110	160
Polonia	130	450
Antigua Unión Soviética	350	700
Iraq	155	350
China	25	75
TOTAL MUNDIAL	1.290	2.700

1: La reserva base incluye recursos demostrados que normalmente son económicos (reservas marginales) y aquellos que normalmente son subeconómicos (recursos subeconómicos).

Fuente: Adaptado de Mineral Facts and Problems 1985 Edition; E&MJ March 1993

nación, el azufre elemental es parcialmente removido y recuperado como coproducto. Las inmensas reservas de petróleo en el Medio Oriente contienen altos porcentajes de azufre potencialmente recuperable a gran escala.

SITUACION DE LAS RESERVAS

MUNDIALES

Un estimativo de las reservas y la reserva base de azufre se muestra en la tabla 1. El total de reservas de azufre en Estados Unidos es de 155 Mt, lo que representa un 12% del total mundial, que es de aproximadamente 1,3 billones de toneladas. Gran parte de las reservas mundiales de azufre están en los depósitos de gas natural del Medio Oriente, Canadá, antigua Unión Soviética, Estados Unidos y Europa Occidental. Otras importantes reservas se encuentran en los depósitos de azufre nativo en Polonia, antigua Unión Soviética, México y Estados Unidos.

En muchos casos los primeros indicios de depósitos de azufre nativo aparecen por casualidad, en el estudio de muestras tomadas de los núcleos de exploración para petróleo o gas natural. En esta forma se localizan los depósitos que aparecen en el techo de los domos de sal.

En otros casos la presencia de azufre nativo o de piritita sólo se deduce después de un detallado estudio de las condiciones geológicas y la asociación con otros minerales.

TIPOS DE MINERIA

Uno de los métodos más utilizados para recuperar azufre es el proceso Frasch, en el que grandes cantidades de agua caliente son introducidas a través de pozos perforados en depósitos de azufre nativo. El calor del agua funde el azufre en las cercanías del pozo y luego es conducido a la superficie como azufre elemental de alta pureza. El proceso Frasch se basa en el

principio según el cual, el azufre elemental se convierte en fluido móvil a una temperatura de 120°C. Entre 120 y 160°C la viscosidad disminuye a medida que se incrementa la temperatura. A temperaturas mayores de 160°C, la viscosidad aumenta y al llegar a 188°C se hace extremadamente viscoso.

El proceso Frasch se está utilizando en 13 países; es un método casi exclusivo en la minería de depósitos permeables de azufre nativo que se encuentran confinados en formaciones impermeables. La tecnología de este proceso está bien desarrollada y suele utilizarse para recuperar azufre nativo de los depósitos de domos de sal localizados en la costa del Golfo de México y en los depósitos estratificados de azufre nativo en el Oeste de Texas, en Polonia, Iraq y la antigua Unión Soviética.

Los depósitos de azufre nativo en los que no se puede utilizar el proceso Frasch, son explotados por métodos mineros de superficie y subterráneos. Normalmente, el tamaño, la forma y profundidad del depósito son factores que determinan el método de minería a seguir. En Estados Unidos el azufre de los depósitos piritosos se produce por minería subterránea y en los países que poseen depósitos de sulfuros masivos se utiliza la minería a cielo abierto.

Estructura de la Industria

La mena de azufre una vez extraída, es sometida a tratamiento por varios métodos. Las menas con alto conte-

nido de azufre son tostadas directamente y el gas resultante o anhídrido sulfuroso, es convertido en ácido sulfúrico. Las menas de medio y bajo grado se benefician por medio de métodos químicos, siendo los más utilizados la fusión, destilación, aglomeración, flotación y extracción con solventes. En esta forma se produce azufre elemental.

En el proceso de refinación del petróleo, parte del producto refinado es sometido a hidrogenación para convertir el azufre a vapor de sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual es pasado por una solución absorbente que remueve el (H_2S) y produce un gas ácido, el que finalmente es convertido en azufre elemental por el proceso Claus. En este proceso, el (H_2S) es quemado bajo condiciones controladas y una porción es oxidada, formándose dióxido de azufre; los dos gases reaccionan y producen azufre elemental de alta pureza, el cual finalmente es removido como azufre líquido.

El azufre que se encuentra en el carbón asociado a la pirita o como azufre orgánico agregado a las moléculas de carbón, es recuperado de las piritas en forma de ácido sulfúrico. Durante la coquización del carbono se producen pequeñas cantidades de azufre elemental y ácido sulfúrico.

El azufre difiere de otros minerales industriales, en que es más usado como químico reactante, que como componente de productos terminados. Para que sea usado por la industria, primero debe convertirse en un producto químico intermedio y entre estos el ácido sulfúrico es el más importante.

Más del 80% del azufre mundial, se usa en la producción de ácido sulfúrico, que en términos de volumen de químico inorgánico producido y consumido, es el principal y más versátil de los ácidos industriales, sin que se conozca un sustituto adecuado. Importantes consumidores de ácido sulfúrico son la industria de refinación de petróleo y la industria de materiales plásticos y sintéticos. Otros consumidores de ácido sulfúrico son las industrias de jabones y detergentes; el acero, en la industria de los químicos orgánicos, en explosivos y en químicos para la agricultura.

Los principales consumidores de azufre en Estados Unidos, son del sector agrícola, donde se usa para la elaboración de fertilizantes fosfatados. Otros usos se dan en la elaboración de productos plásticos y sintéticos, productos del papel, pinturas, en proceso de producción de metales no ferrosos, refinación de petróleo y producción de hierro y acero.

El mercado del azufre está estrechamente ligado al consumo de petróleo, de gas natural y de la situación agrícola mundial, que es la que controla el consumo de fertilizantes. Sólo el 10% del azufre mundial es consumido como azufre elemental en la agricultura y en la industria química.

En la figura 1 se representa las principales fuentes de azufre y los usos industriales del azufre y del ácido sulfúrico. Dada la importancia industrial que tiene el ácido sulfúrico, en los siguientes párrafos se describen los principales rasgos de esta industria.

La producción mundial de ácido

sulfúrico se estima en 150 millones de toneladas; el 57% se produce a partir de azufre, un 20% a partir de pirita asociada a otros sulfuros minerales y un 23% de los gases de fundición. El 62% del ácido sulfúrico se usa en la elaboración de fertilizantes fosfatados y un 38% en consumo industrial. Los principales centros de oferta son el Golfo de México, Europa y Japón. A nivel internacional sólo se comercializa el ácido producido a partir de piritas o gases de fundición, ya que el ácido sulfúrico a partir de azufre no resulta competitivo. El ácido obtenido a partir de la fundición de metales es un producto obligado (en cumplimiento de leyes de protección del medio ambiente) que siempre desplazará a sus competidores, independientemente de los precios del mercado.

De la producción total mundial, el auto-consumo, de H_2SO_4 es decir lo que se produce y consume en el mismo lugar, corresponde a 105 Mt (70%). Generalmente las plantas de fertilizantes cuentan con plantas propias de ácido sulfúrico. El comercio local en los países donde se produce ácido sulfúrico es de 42 Mt (28%); internacionalmente se comercializan por vía terrestre 1,6 Mt, mientras el comercio marítimo externo es de 1,4 Mt.

En países como Chile, donde las fundiciones han incorporado una avanzada tecnología para producir ácido sulfúrico en forma económica, se buscan mercados de exportación como estrategia, para vender sus excedentes una vez abastecido el mercado local. Países como Argentina, Brasil y Estados Unidos, que son consumidores de ácido sulfúrico en volúmenes muy im-

portantes, constituyen un mercado atractivo para Chile.

Brasil, registra un consumo anual de ácido sulfúrico de aproximadamente 4,8 Mt y presenta un crecimiento anual del 5%; lo que significa que el consumo de ácido aumenta anualmente en 200.000 toneladas. El ácido es utilizado primordialmente en la elaboración de fertilizantes y pequeñas cantidades en la industria química. Como el ácido sulfúrico para fertilizantes es de consumo estacional, la mayor demanda se presenta durante 6 meses al año y los requerimientos puntuales son superiores a la capacidad instalada. Esto obliga a Brasil a importar ácido normalmente de España y el Golfo. Dado que la distancia desde Chile al Sur de Brasil, es menor que la que hay desde España o de los Estados Unidos al mismo punto, los chilenos consideran a Brasil su principal mercado de exportación.

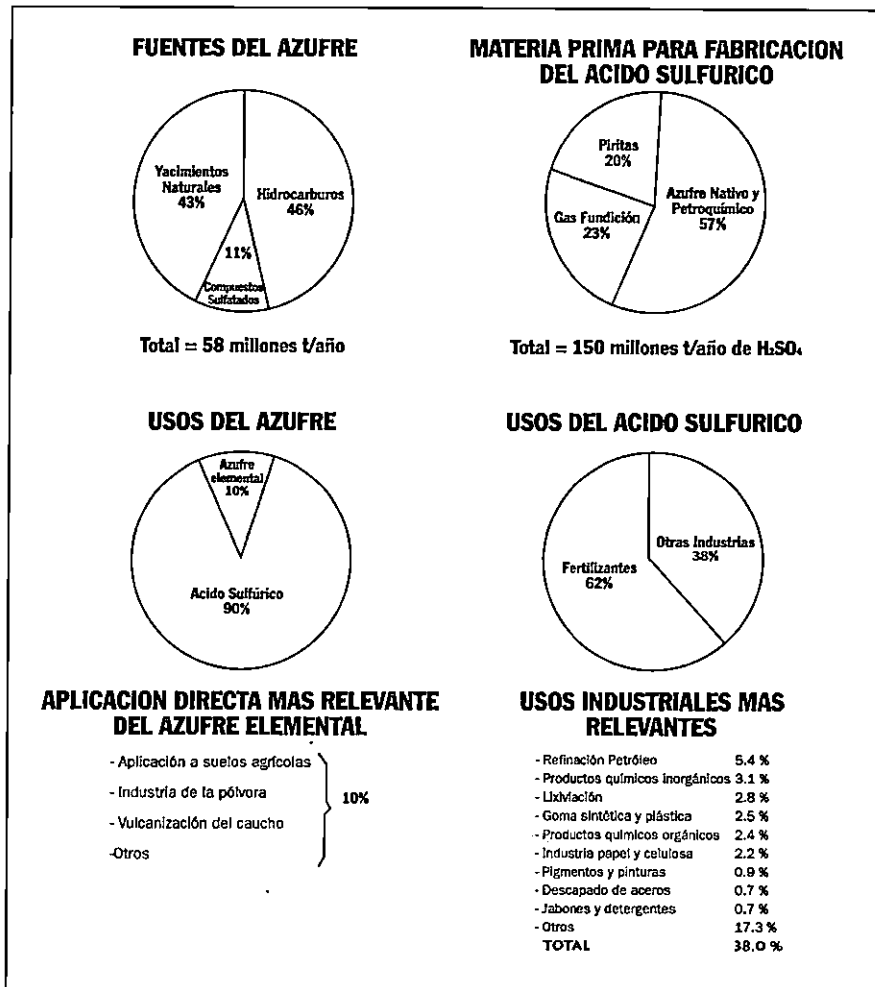
Chile no considera a Colombia como un mercado atractivo, ya que el consumo nacional es apenas de 282.000 t/año, (incluye producción de Acerías Paz del Río, donde se obtienen 3.000 t/año de ácido sulfúrico por el proceso de desulfurización en los hornos de coquización), y el déficit es de sólo 108.000 t/año, volumen que no permite un comercio regular y estable para el transporte y manejo de un producto de esta naturaleza.

Características del Mercado

La producción mundial de azufre en todas las formas (azufre elemental, azufre a partir de pirritas y de sulfuros

FUENTES Y USOS DEL AZUFRE Y DEL ACIDO SULFURICO A NIVEL MUNDIAL

Figura 1.



Fuente: Mineralco S.A. 1992.

de metales no ferrosos) alcanzó un total de 55,4 Mt en 1992, que comparada con las 56,51 Mt en 1991, representa una disminución de 1 Mt, cantidad que en su totalidad correspondió a azufre elemental (Bain, 1993). El 75% del total mundial de azufre elemental se obtiene como subproducto. En la tabla 2 aparece la producción mundial de azufre en todas las formas (SAF) durante el período 1985-1989 y en la tabla 3, la producción mundial occidental en el período 1988-1990. Para 1994 se estima una producción mundial de azufre SAF de 51,3 Mtn.

El 43% de azufre se obtiene de yacimientos naturales, el 46% de hidrocarburos y el 11% de las fundiciones de compuestos sulfurados. En 1994 se estima que la producción mundial de azufre a partir de gas natural sea de 16,7 Mtn comparados con las 16,6 Mtn obtenidas en 1993. Para el azufre recuperado de la refinación de petróleo esta proyectada para 1994 la cifra de 0,3-0,5 Mtn (Foster, 1995).

Estados Unidos mantiene su posición como el mayor productor y consumi-

Tabla 2:
PRODUCCION MUNDIAL DE AZUFRE EN TODAS LAS FORMAS (SAF)

(miles de toneladas métricas)

	1985	1986	1987	1988	1989 e
Estados Unidos	11.609	11.087	10.538	10.746	11.592
Canadá	6.645	6.587	6.619	6.930	6.625
Antigua URSS	8.530	8.165	9.250	10.265	9.350
Polonia	5.203	5.207	5.324	5.090	5.090
China	2.900	3.100	4.500	4.750	4.900
Japón	2.498	2.371	2.316	2.447	2.523
México	2.140	2.184	2.458	2.378	2.367
Alemania Federal	1.769	1.773	1.825	1.795	1.885
Francia	1.723	1.306	1.252	1.168	1.051
Chile	199	177	167	178	266
Brasil	229	272	313	322	331
TOTAL MUNDIAL	53.771	53.601	56.068	58.096	58.348
A PARTIR DE					
Frasch	12.352	11.774	11.230	11.008	11.825
Pirita	8.985	8.881	9.854	10.163	10.214
Nativo	2.970	2.935	3.065	2.865	2.749
SUBPRODUCTO DE					
Metalurgia	6.414	6.519	6.807	7.338	7.521
Gas Natural	12.279	11.264	12.392	13.325	12.191
Petróleo	5.618	6.379	6.599	7.015	7.179

Fuente: Minerals Yearbook 1988, 1989

Tabla 3:
PRODUCCION DE AZUFRE (SAF) EN EL MUNDO OCCIDENTAL

(miles de toneladas de azufre equivalente)

	1988	1989	1990
BRIMSTONE (ELEMENTAL)			
FRASCH			
USA	3.125	3.830	3.700
México	1.605	1.500	1.475
Iraq	750	900	750
	5.480	6.230	5.925
RECUPERADO			
Canadá	5.950	5.850	5.950
Francia	750	630	630
USA	6.345	6.450	6.500
Medio Oriente	2.100	2.820	2.400
Otros	4.200	4.500	4.550
	19.345	20.250	20.030
OTROS BRIMSTONE	110	110	110
TOTAL	24.935	26.590	26.065
NO BRIMSTONE			
Piritas	3.800	3.800	3.800
Fundición, metalurgia	6.450	6.340	6.450
TOTAL	10.250	10.140	10.250
PRODUCCION TOTAL SAF	35.185	36.730	36.315

Fuente: Engineering and Mining Journal, March 1990, March 1991.

dor mundial de azufre y de ácido sulfúrico. La producción de azufre elemental y azufre por el proceso Frasch ha disminuido notoriamente. En los diez últimos años se ha registrado un incremento cercano al 25% en la producción de azufre proveniente de la fundición en plantas metalúrgicas, mientras que el volumen de azufre a partir de piritas se ha mantenido estático, con un nivel entre 9 y 10 toneladas año. (Foster, 1993).

En el proceso de tostación de pirita y pirrotina, el residuo o sinter es el subproducto y el ácido sulfúrico el producto. En la fundición de sulfuros de metales no ferrosos, el azufre bajo la forma de ácido sulfúrico, es conside-

rado un subproducto que aporta más de 10 Mt de azufre por año; cantidad que podría incrementarse moderadamente si se consideran las ampliaciones programadas en las plantas metalúrgicas existentes y los mayores controles en la contaminación ambiental.

Se estima que en 1992 China produjo cerca de 11,4 Mt de ácido sulfúrico a partir de piritas, cantidad que representa casi la mitad del total mundial producido. Con base en el desarrollo normal de la industria del petróleo, de un total de 10 Mt de azufre producido anualmente en las refinerías, en un término de cinco años se pasará a más de 12,5 Mt/año. Otra de las fuentes importantes de azufre elemental, es a partir del gas natural, siendo Canadá el mayor productor.

Dado que la minería Frasch opera en forma continua, podemos asumir que su capacidad varía con el tiempo y aunque está relacionada a la cantidad de agua supercaliente que pueda ser inyectada en el depósito de azufre, depende de factores como: número de

pozos de vapor, velocidad de inyección de agua, pérdidas de agua en la formación, localización de los pozos dentro del depósito y del tiempo durante el cual el depósito ha sido trabajado.

OFERTA-DEMANDA

El mercado mundial de azufre en los últimos tres años, demuestra que la

demanda de azufre en todas las formas (SAF) pasó de un tope de 60,4 Mt en 1988 a 55 Mt en 1992, una disminución del 9%. En cuanto a la demanda mundial de azufre elemental, de un máximo de 41,7 Mt en 1988, bajó a 35,3 Mt, una disminución del 15% (Foster, 1993; Bain, 1993; 1992). En 1992 el 63% de la demanda de azufre (SAF) fue destinada a la pro-

Tabla 4
PRINCIPALES FUENTES DE AZUFRE EN TODAS SUS FORMAS (SAF)
(millones de toneladas métricas)

	1992	%
ELEMENTAL		
Recuperado de gas natural	16,0	29
Recuperado de ref. petróleo	11,3	21
Azufre por minería	8,2	15
Subtotal	35,5	65
NO ELEMENTAL		
Fundic. metalurgia/otras	10,1	18
Tostación piritas	9,1	17
Subtotal	19,2	35
TOTAL SAF PRODUCCION	54,7	100

Fuente: E&MJ March 1993

Tabla 5
OFERTA - DEMANDA DE AZUFRE EN EL MUNDO
(millones de toneladas)

	OFERTA			DEMANDA		
	1990	1991	1992	1990	1991	1992
Azufre elemental						
o Brimstone	39,70	36,38	35,29	39,31	36,75	35,35
De pirita	10,28	9,81	9,75	10,28	9,81	9,75
Otras formas	10,41	10,32	10,33	10,41	10,32	10,33
Todas las formas (SAF)	60,39	56,51	55,37	60,00	56,88	55,43

Fuente: E&MJ March 1993; Metals and Minerals Annual Review, 1993; 1992

ducción de fertilizantes, correspondiendo al azufre elemental la mayor cantidad requerida. La tabla 4 registra las principales fuentes de azufre SAF en 1992 y la tabla 5 la situación oferta-demanda en el período 1990-1992.

El mercado internacional de azufre elemental ha declinado desde un

máximo de 19,1 Mt en 1988 a un estimado de 15,9 Mt para 1992. Más del 85% de esta disminución se atribuyó a la reducción de importación por Europa Occidental y la antigua Unión Soviética.

La actual estructura que se presenta en la oferta, permite suponer que hacia el año 2000 la tendencia será la

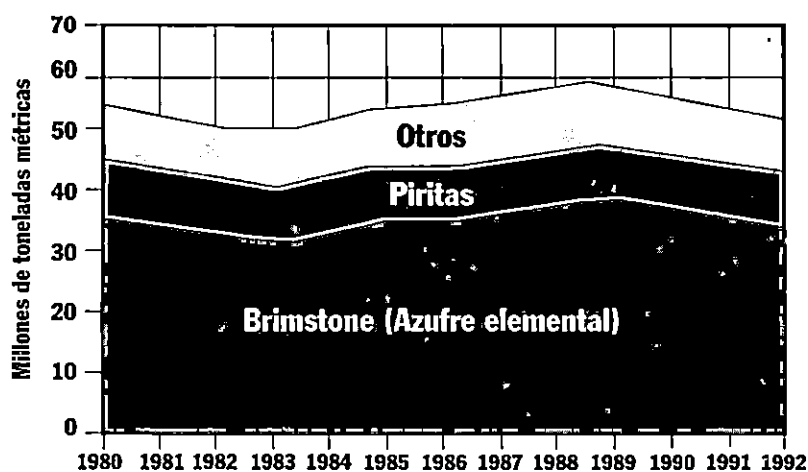
de sustituir el azufre nativo por el azufre petroquímico, no sólo por razones técnicas sino también por disposiciones en el manejo ambiental. Las figuras 2a y 2b ilustran el comportamiento en la producción y demanda mundial de azufre SAF para el período 1980-1992.

En los dos últimos años el consumo de azufre (SAF) pasó de 56,8 Mt en 1991 a 55,4 Mt en 1992. Europa Occidental registró una reducción en la demanda de azufre (SAF) de 8,3 a 7,5 Mt, consecuencia de un mayor control en la industria de los fosfatos y al incremento de reciclaje del (H_2SO_4) en la industria química. México redujo drásticamente la producción de azufre Frasch y de las dos compañías operadoras, la Cía APSA tuvo que liquidar y cerrar sus minas. De otra parte, la producción de azufre elemental a partir de la refinación de petróleo alcanzó 27,1 Mt, un aumento de 1 Mt respecto a 1991. (Bain, 1993; 1992). Por el contrario, a partir de 1988 se ha presentado una disminución en el consumo de azufre elemental que de 19,1 Mt en 1988 pasó a 15,9 Mt en 1992; debido al mayor uso del azufre en otras formas (SOF), particularmente en el (H_2SO_4) producido en la fundición metalúrgica.

En el caso de la antigua Unión Soviética, la demanda de azufre (SAF) bajó de un máximo de 11,5 Mt en 1988 a menos de 8 Mt en 1992, correspondiendo al azufre obtenido a partir de piritas, la mayor disminución. En Asia, la región más poblada del planeta la situación es algo diferente, la demanda de azufre se ha incrementado en un 20% al pasar de 10,3 Mt en 1988 a 12,4 Mt en 1992.

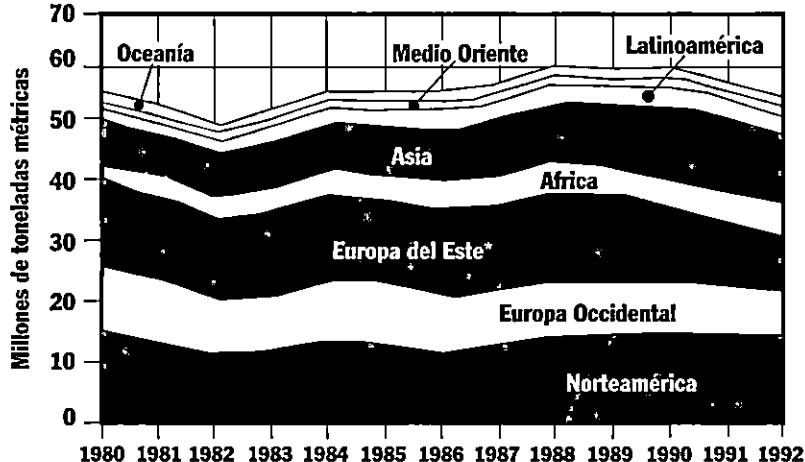
PRODUCCION MUNDIAL DE AZUFRE EN TODAS LAS FORMAS (1980 - 1992)

Figura 2.a.



DEMANDA MUNDIAL DE AZUFRE EN TODAS LAS FORMAS POR REGIONES (1980 - 1992)

Figura 2.b



* Europa del Este incluye la CEI.

Fuente: E&MJ, Marzo 1993.

PRECIOS

Para los proveedores de azufre, 1992 fue un año desastroso, y a pesar de haberse registrado una demanda ligeramente mayor a la producción, fue un año en el que se aceleró la caída en el precio, llegando al nivel más bajo en los últimos 15 años. Los exportadores canadienses vieron caer el precio en cerca del 50%. En 1993 los precios internacionales del azufre llegaron a su nivel más bajo en 20 años.

La crisis en el precio del azufre no puede atribuirse sólo a la oferta-demanda; otros factores, como la disgregación de la antigua Unión Soviética y la autosuficiencia en los mercados importadores que han disminuido el poder de los principales exportadores. Los precios Ex-Vancouver, uno de los mercados de bolsa mundial del azufre estuvieron al comienzo de 1993 por debajo de US\$35/t, hecho que contrasta al compararse con precios de US\$100-105/t en enero de 1992 y con el precio máximo de US\$ 150/t a mediados de 1985. En Tampa, Florida (USA) los precios a comienzos de 1993 estuvieron en el rango de US\$72-80/t, frente a precios de US\$132-140/t en enero de 1993 (Foster, 1993). En 1994 los precios en Tampa fluctuaron entre US\$45-50/t, hasta US\$70/t a finales de año (Foster, 1995).

Proyecciones

La caída en los precios ha precipitado la reestructuración en la organización exportadora canadiense, llegándose a exigir a los productores el suspender las ventas o la producción.

Seguramente que en 1993, la producción de azufre será mayor a la demanda; sin embargo serán las decisiones del mercado mundial las que determinen donde y qué tanto del azufre se agregue a las existencias y qué sucederá con el precio. La obtención del mineral como subproducto ha sido una de las causas de la superproducción, motivo por el cual es poco probable que se registre un cambio significativo en el nivel de precios. Es interesante registrar que en 1994 se haya presentado el primer incremento en la demanda desde 1988.

Los pronósticos en el escenario optimista indican que la demanda global de azufre SAF en 1996 se situará entre 65-67 Mt, un incremento del 19-22% respecto a 1992. Igualmente, la demanda de azufre elemental se incrementaría en 5 Mt, un aumento del 14% respecto a 1992. Para los siguientes 5 años, los factores de mayor impacto en el crecimiento de la demanda mundial de azufre serán: las consideraciones económicas y políticas que se adopten en la antigua Unión Soviética; la actitud que tome la China para el desarrollo de azufre a partir de fuentes piritosas de bajo grado y en Marruecos la ampliación de las unidades de fertilizantes fosfatados a base de azufre elemental.

En el inmediato futuro las inversiones en nueva capacidad de operación no serán fáciles de lograr y es probable que la producción llegue a concentrarse en productores que no tengan la capacidad o motivación para aumentar la producción y hacer frente a nuevas demandas. Un hecho cierto es que en 1994 el mercado del azufre ha

sufrido un cambio estructural, la industria debe continuar mejorando su capacidad para ajustarse a los cambios en la demanda, de lo contrario seguirá la insertidumbre (Foster, 1995).

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico-Mineros

Los principales yacimientos de azufre conocidos en Colombia, están asociados a la actividad volcánica del Terciario-Cuaternario, en los departamentos de Nariño, Cauca y Tolima. Prospectos y ocurrencias de azufre se encuentran en rocas sedimentaria de edad cretácea.

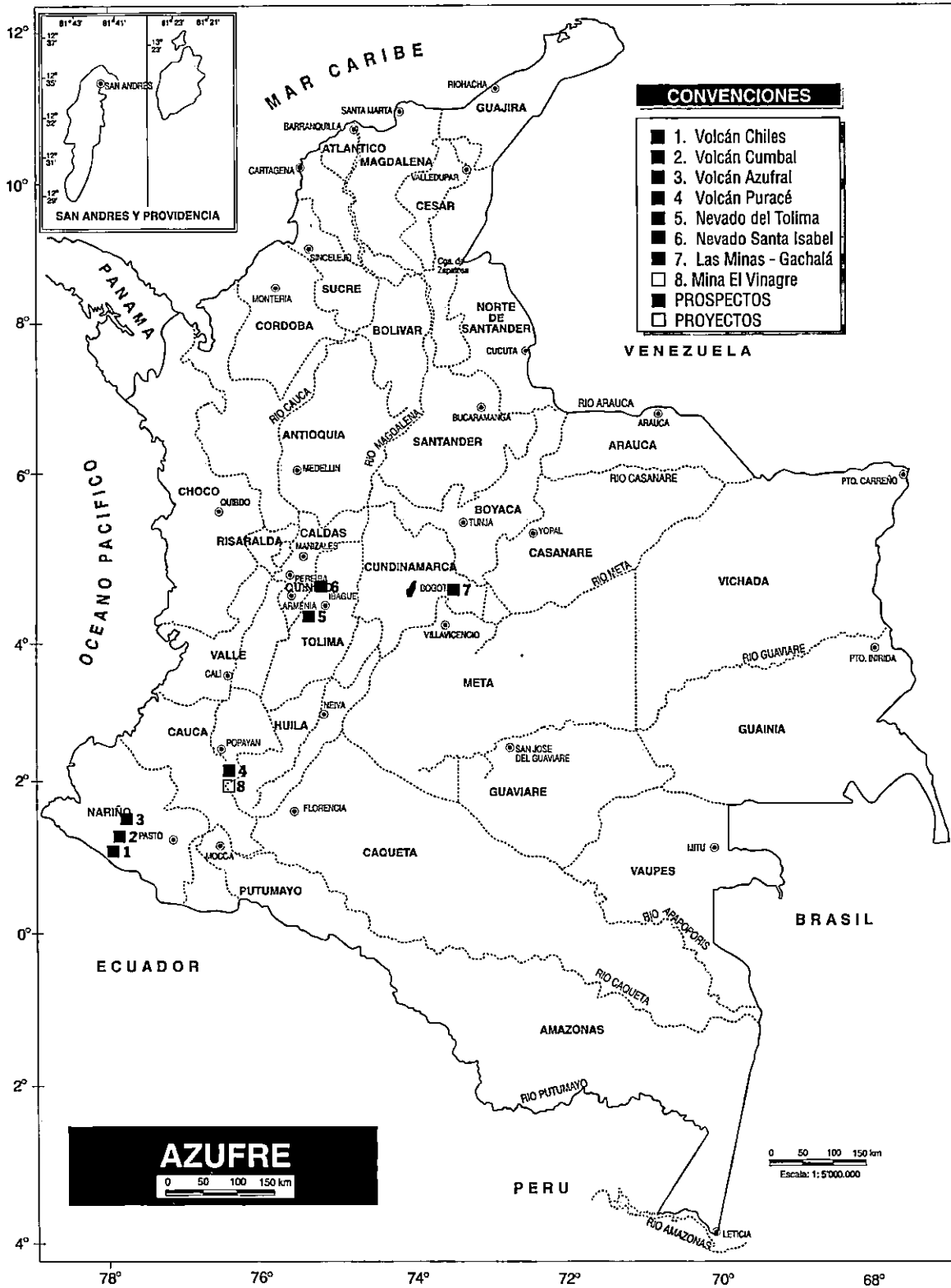
En la figura 3 se muestra la ubicación de los prospectos y proyectos de azufre en Colombia.

Los principales depósitos de azufre se encuentran en las cordilleras Occidental y Central. En el Departamento de Nariño están asociados a los volcanes de Chiles, Cumbal y Azufra, y en el Departamento del Cauca se encuentran en los volcanes Puracé y Sotará, localizados en la cima de la cordillera Central. Otras mineralizaciones de azufre se presentan en el Complejo Volcánico del Ruiz (Tolima). (Figura 3).

En el estrato-volcán de Chiles, en el Río Nazates se encuentra un depósito que cubre un área de 320.000 m². El horizonte mineralizado tiene un espesor que varía entre 3 y 37 m (en promedio 8 m), el tenor medio es de 22% azufre y

LOCALIZACION DE PROYECTOS Y PROSPECTOS MINEROS PARA AZUFRE

Figura 3.



por datos de túneles y perforaciones se han calculado 2'691.400 toneladas de reservas medidas y 2'056.897 toneladas de reservas inferidas. En el estrato volcán activo de Cumbal en el cráter parásito de Mundo Nuevo y en el sitio Plazuelas se encuentran mineralizaciones de azufre con contenidos entre 15 y 25%, las cuales están asociadas a tobas y cenizas volcánicas. Otro importante depósito se encuentra en una caldera del estrato-volcán Azufral, la mineralización ocupa un área cercana a 25.000 m² y en algunos sectores alcanza 80 m sobre el nivel de una laguna con actividad fumarólica.

El estrato-volcán compuesto de Puracé

presenta un cráter de 500 m de diámetro y 160 m de profundidad, hace parte de la Serranía de los Cococucos, compuesta por siete volcanes alineados en dirección NW-SE. La zona mineralizada del volcán Puracé se compone de tres bancos con espesores entre 20 y 25 m, los que presentan las siguientes características: a) Banco Superior a 3.700 m.s.n.m. constituido por lavas andesíticas impregnadas de azufre y tenores entre 25 y 31%. b) Banco intermedio a 3.640 m.s.n.m. conformado por tobas andesíticas y dacíticas y un contenido de 50% azufre. c) Banco inferior a 3.610 m.s.n.m. que contiene tobas andesíticas impregnadas de azufre y un tenor de 25%.

En el volcán activo del Tolima existen dos acumulaciones de azufre con 38% de tenor promedio. El depósito El Termal con 5.380 toneladas de reservas medidas se encuentra en lavas fracturadas cubiertas por material fluvio-glaciar. El yacimiento la Azufrera con 400 toneladas de reservas medidas está asociado con material pumítico.

El azufre en rocas sedimentarias del Cretácico, se localiza en el Municipio de Gachalá (Cundinamarca). El yacimiento las Minas, antiguamente explotado por la Compañía Azufrera de Gachalá, cubre un área de 10 hectáreas. El azufre en forma cristalina y amorfa, aparece como relleno de fi-

Tabla 6.
EMPRESAS QUE INTEGRAN LA DEMANDA DE AZUFRE EN COLOMBIA (1991)

NOMBRE DE LA ENTIDAD	CIUDAD	E/P	% PARTICIPACION
Monom. Colombo Venezolanos S. A. (1,2)	Barranquilla	E	40,5
Químicas Básicas S. A. (1)	Cali	P	11,4
Química Internacional (2)	Barranquilla	P	10,0
Sulco S. A.	Cali	P	6,5
Industrias Básicas de Caldas S. A. (1)	Manizales	P	5,1
Derivados del Azufre S. A.	Manizales	P	2,5
Pulpapel S. A.	Cali	P	2,4
Productos Químicos Panamericanos S. A. (1,2)	Bogotá	E	1,9
FAS S. A. (1)	Neiva	P	1,9
Mejiquim	Medellín	E	1,2
Inextra S. A.	Medellín	E	1,1
Paz del Río S. A.	Bogotá	E	0,9
Quintal S. A.	Barranquilla	E	0,7
Pigmentos S. A.	Medellín	E	0,5
Dersa S. A.	Bogotá	E	0,5
Colemul	Bogotá	E	0,5
Alcalis de Colombia	Bogotá	E	0,4
Hoechst	Bogotá	E	0,2
Papelsa	Medellín	E	0,1
Comercial Condor S. A. (3)	Cali	P	11,6

NOTA: Clientes de Ecopetrol (E) o Industrias Puracé (P). (1) Productor y proveedor nacional de ácido sulfúrico. (2) Consumen parte del ácido sulfúrico que producen. (3)

Para evitar la doble contabilidad se ha incluido aquí las demás empresas en Colombia que consumen azufre en pequeñas cantidades.

Fuentes: ECOPETROL, Industrias Puracé y MINERALCO. S.A. 1992.

suras y diseminado; en algunos sitios aparece asociado a sulfuros tales como pirita, blenda y calcopirita.

Estructura de la Industria

En Colombia, más del 90% del azufre producido o importado se usa para la fabricación de ácido sulfúrico. En un porcentaje muy bajo se utiliza directamente en la vulcanización del caucho, en la industria de la pólvora y en aplicación a suelos agrícolas. Bajo la forma de ácido sulfúrico se emplea en la preparación de fertilizantes, en siderúrgica y en procesos industriales para obtener aceites, pulpa, pigmentos, pinturas, textiles, azúcar refinada, caucho, plásticos, detergentes y otros productos químicos.

A diferencia del azufre nativo, el azufre petroquímico no contiene selenio, contaminante indeseable en la producción de ácido sulfúrico y otros procesos químicos. En nuestro medio, el principal uso del azufre petroquímico, es para producir ácido sulfúrico, óleum y sus derivados (sulfatos, sulfitos y sulfuros). El grado de pureza del azufre producido en Colombia varía de 99,5% a 99,95% y un contenido de 100 ppm de selenio. Para la información nacional, se contó con la colaboración de Industrias Puracé y ECOPETROL.

En países con cierto avance tecnológico, la extracción de azufre se realiza utilizando métodos un poco diferentes a los que se siguen en países como el nuestro. En la mina El vinagre el mineral se transporta en volquetas hasta una trituradora, donde se obtiene ma-

terial con un tamaño promedio de 3 pulgadas. Luego es cargado en vagones a las autoclaves donde el azufre es extraído inyectando vapor a 70 libras por pulgada cuadrada (PSI). El azufre líquido refinado con un 99,8% de pureza, sale del autoclave por medio de un tubo a la secadora de aire, para luego ser molido y empaquetado para su distribución.

Los principales centros de consumo de azufre en Colombia son Barranquilla (50%), Cali (32%), Manizales (8%), Bogotá (5%), Medellín (3%) y Neiva (2%). La planta de fertilizantes de Monómeros S.A. en Barranquilla,

es el principal consumidor de azufre, pero su ubicación geográfica no le es favorable para usar azufre nativo, por lo que sólo utiliza 2.200 toneladas procedentes de ECOPETROL y el resto, 35.000 toneladas/año se tiene que importar. La tabla 6 ilustra la conformación de la demanda en Colombia, discriminada por empresas.

Las estadísticas sobre producción nacional de azufre para el período 1970-1993 aparecen en la tabla 7. En la década de los años setenta la producción de azufre nativo se mantuvo relativamente constante, situándose en

Tabla 7. PRODUCCION DE AZUFRE EN COLOMBIA (toneladas)

AÑO	NATIVO (Refinado)	PETROQUIMICO	TOTAL
1970	25.837	1.706	27.543
1971	34.678	1.027	35.705
1972	23.700	1.372	25.072
1973	23.800	1.219	25.019
1974	30.612	1.720	32.332
1975	25.000	877	25.877
1976	17.800	1.922	19.722
1977	27.000	2.216	29.216
1978	35.000	1.377	36.377
1979	16.050	1.169	17.219
1980	25.647	757	25.404
1981	26.300	2.701	29.001
1982	32.601	4.748	37.349
1983	32.059	4.981	37.040
1984	36.245	11.275	47.520
1985	41.374	9.681	51.055
1986	36.611	13.936	50.547
1987	54.044	10.203	64.247
1988	42.976	8.233	51.209
1989	41.721	8.800	50.521
1990	39.686	8.500	48.186
1991	46.530	9.400	55.930
1992	47.207	10.200	57.407
1993	42.596	8.800	51.396

NOTA: Para la conversión de barriles/toneladas se ha utilizado un factor de 6,33.

Fuente: Industrias Puracé S.A., ECOPETROL, MINERALCO (Estadísticas del sector minero No. 9 Mayo 1994).

un promedio de 26.000 toneladas. Entre 1980 y 1987 la producción se incrementó en 3.300 t/año, para luego nivelarse en el cuatrienio 1988-1991 en aproximadamente 46.000 toneladas. Similarmente, en la década de los años setenta la producción de azufre petroquímico tendió a permanecer constante, ubicándose en un promedio de 1.400 t/año. Al comienzo de los años ochenta una segunda planta entró a operar, incrementándose la producción en 1800 t/año, hasta alcanzar 12.200 toneladas en 1991. (Para azufre nativo: pendiente de la recta = 3.300 t/año; coeficiente de correlación = 0,90. Para azufre petroquímico:

pendiente de la recta = 1.800 t/año; coeficiente de correlación = 0,93).

Características del Mercado

Como puede observarse en la tabla 8, el volumen de las importaciones de azufre en el período 1971-1979 experimenta bruscos cambios. De cantidades muy bajas a comienzos de los setenta, las importaciones colombianas aumentan significativamente hasta alcanzar un volumen promedio de 25.000 toneladas a mediados de la década. En 1978 se produce un notorio incremento para continuar

luego con un suave descenso durante los años ochenta. El incremento general observado en el primer lustro de años setenta, se explica en gran medida por las ampliaciones de Monómeros S.A. durante este período. En la segunda mitad de la década, el aumento de la demanda fue satisfecho con importaciones, mientras los niveles productivos permanecían invariables. No obstante, la industria nacional reaccionó en los años ochenta y los niveles de producción aumentaron progresivamente, frenando las importaciones hasta 1987, año en el cual el proceso nuevamente se invirtió y las importaciones se incremen-

Tabla 8.
PRODUCCION, IMPORTACIONES, EXPORTACIONES Y CONSUMO APARENTE
DE AZUFRE EN COLOMBIA
(miles de toneladas)

AÑOS	PRODUCCION	IMPORTACIONES	EXPORTACIONES	CONSUMO
1971	35,7	3,3	0,1	38,9
1972	25,1	4,1	0,1	29,1
1973	25,0	15,0	0,3	39,7
1974	32,3	26,0	0,4	57,9
1975	25,9	25,1	0,0	51,0
1976	19,7	24,8	0,0	44,5
1977	29,2	23,2	0,0	52,4
1978	36,4	55,9	0,0	92,3
1979	17,2	35,3	0,0	52,5
1980	26,4	34,8	2,4	58,8
1981	29,0	34,3	1,7	61,6
1982	37,3	28,3	5,9	59,7
1983	37,0	28,0	1,8	63,2
1984	47,5	26,5	3,4	70,6
1985	51,1	26,6	1,4	76,3
1986	50,5	23,0	1,6	71,9
1987	65,5	24,3	4,5	85,3
1988	51,2	32,2	2,8	80,6
1989	51,7	25,5	1,1	76,1
1990	48,2	41,7	2,6	87,3
1991	58,7	35,6	2,3	92,0

NOTA: Consumo= Producción + Importaciones - Exportaciones.

Fuente: Cuadro No. 1 (Producción), Industrias Puracé (Exportaciones), y Monómeros (Importaciones). 1991.

taron, debido al descenso en los volúmenes de oferta de azufre nativo.

El azufre es importado por la empresa Monómeros Colombo-Venezolanos principalmente de las islas del Caribe, donde se obtiene a partir del proceso de desulfurización del petróleo que entra a los E.U.. También se importa (con tendencia al aumento) azufre petroquímico proveniente de Venezuela, el cual resulta bastante atractivo desde el punto de vista de costos.

El volumen de las exportaciones colombianas ha sido tradicionalmente muy regular, situándose durante el último lustro, en 2.600 toneladas anuales en promedio.

OFERTA

A comienzos de los años setenta se registraron cifras muy bajas, tal como puede apreciarse en las cifras de la tabla 8. Durante el período 1975-1979 no hubo exportaciones de azufre. En los últimos 12 años se registraron exportaciones con volúmenes que fluctuaron entre 1.100 y 5.900 t/año. Esta situación probablemente obedeció a un mejoramiento en el precio de los contratos de exportación de pequeñas cantidades, a países vecinos.

El hecho que las exportaciones de azufre elemental en el período considerado, no alcancen el 6% de las importaciones en promedio, se atribuye a que tradicionalmente no han existido excedentes de producción exportables, además el azufre nacional no podía competir con los precios externos en razón a los altos costos de mineral y del transporte. En el evento

que la producción colombiana exceda a la demanda de azufre en un futuro, se estima que países como Ecuador, Perú, Costa Rica, Bolivia, Panamá, El Salvador, Guatemala y Honduras pueden ser mercados potenciales para nuestro azufre. Algunos de estos países están interesados en favorecer la integración Andina y podrían recibir ventajas del libre comercio, mientras que otros estarían dispuestos a comprar azufre en pequeñas cantidades, según sus necesidades puntuales.

Desde luego, Colombia podría verse favorecida por su ubicación geográfica en relación con sus países vecinos, aunque se vería forzada a igualar los precios F.O.B. de la contraparte, en el puerto de oferta.

Comparativamente, las exportaciones de derivados del azufre fueron un poco mayores que las de azufre elemental, debido a excedentes sobre la demanda interna y a la privilegiada ubicación de caprolactama, óleum, ácido sulfúrico y sulfato de amonio de Monómeros.

Un programa de exportación basado en excedentes de producción y el aprovechamiento de las facilidades que ofrece la costa norte, puede ser viable en un futuro; sin embargo es necesario comprender que estaría sujeto directamente a la disponibilidad de azufre elemental.

En Colombia los derivados del azufre se obtienen exclusivamente del azufre nativo o petroquímico; alcanzar excedentes exportables, implicaría satisfacer previamente la demanda inter-

na, lo cual depende del incremento en los volúmenes de producción de derivados, que a su vez está sujeto a una mayor oferta de azufre elemental.

A menos que aumente sustancialmente la oferta interna de azufre, o se implemente un programa amplio de importación de materia prima y exportación de valor agregado, en el corto plazo Colombia no tiene la posibilidad de incrementar notoriamente las exportaciones de azufre elemental y sus derivados.

DEMANDA

El consumo aparente de azufre en los últimos 21 años presenta distintos niveles de crecimiento. La tabla 8 muestra el consumo aparente, definido como la producción interna más importaciones, menos exportaciones.

En la década de los años setenta, la expansión de la demanda fue cubierta totalmente a través de importaciones, mientras la producción nacional permanecía constante. Aunque es difícil estimar una tasa media de crecimiento para este período debido a las fluctuaciones de la serie, se puede deducir que el consumo aparente osciló en alrededor de 52.000 toneladas. Los volúmenes anuales de las exportaciones de azufre elemental son tan reducidos que no influyen de manera significativa en los cálculos de consumo y aunque fueron tomados en cuenta en la tabla 7. Las exportaciones como variable se ignoran en el análisis de tendencia.

En contraste; las cifras entre 1980 y 1987 reflejan una clara tendencia que

nos permite estimar una tasa de crecimiento promedio. El ajuste a una línea de tendencia arroja un coeficiente de correlación igual a 0,91, con un incremento anual de 3.500 toneladas, corroborado a su vez por las variables de producción e importaciones. En efecto, el crecimiento anual de la producción total y la disminución de las importaciones en este pe-

ríodo estuvieron en 5.100 y 1.600 toneladas respectivamente, con coeficientes de correlación muy significativos (0,97 para la producción y 0,93 para las importaciones), lo cual también arroja un crecimiento neto de 3.500 t/año, o su equivalente, una tasa de crecimiento promedio del 5%.

En relación con el período 1988 y

1991 el panorama cambia sustancialmente; mientras la producción de azufre nativo parece nivelarse en 46.000 t/año, la competencia refina a plena capacidad 12.000 t, las importaciones promedian 34.000 t y el consumo se sitúa en 92.000 toneladas.

PRECIOS

Los precios del azufre nacional varían según el sitio de origen y destino final. En la tabla 9A se puede observar un incremento anual de precios, calculado en un 26% para la columna de promedios. Aunque los precios externos son los que aparentemente regulan los nacionales, este aumento parece corresponder tan solo al incremento anual de precios de los diferentes insumos que afectan los costos de producción. Aunque el azufre petroquímico muestra una ligera tendencia a cotizarse por encima del nativo entre 1980 y 1990, la realidad es que durante este período no existió en el mercado una política clara de diferenciación de precios y sólo a partir de 1991, los precios del

Tabla 9 A.
PRECIOS DEL AZUFRE COLOMBIANO FOB MINA O PLANTA
(pesos/tonelada)

AÑOS	NATIVO	P/QMICO	P/MEDIO
1980	9.000	10.389	9.695
1981	10.600	13.537	12.069
1982	13.000	13.762	13.381
1983	15.000	14.769	14.885
1984	17.000	16.970	16.985
1985	20.400	20.434	20.417
1986	25.500	25.653	25.577
1987	31.000	31.895	31.443
1988	40.000	40.744	40.372
1989	51.300	53.000	52.150
1990	65.200	69.000	67.100
1991	84.000	76.200	80.100
1992	84.000	67.252	75.626

Tabla 9 B.
PRECIOS DEL AZUFRE SEGUN ORIGEN Y DESTINO
(Dólares, 1992/tonelada)

ORIG. AZUFRE	B/QUILLA	M/LLIN	BOGOTA	M/ZALES	NEIVA	CALI
Purace (US\$112)	155	141	140	132	136	125
Ecopetrol/CIB (US\$90)	117	128	121	126	132	132
Islas del Caribe (US\$85)	85	115	121	121	125	123
(US\$100)	100	130	136	136	140	138

NOTA: Precio Azufre importado Islas del Caribe= Precio CIF B/quilla+ (Gastos de Nacionalización + Manipuleo + Comisiones + Gastos Financieros)= US\$ 65 + 20 = US\$ 85.

Cambio oficial del Dólar= \$750

Fuente: Industrias Puracé, ECOPETROL, Colfecar y MINERALCO S.A. 1992.

azufre petroquímico se colocaron por debajo de los del azufre nativo, en virtud de la caída de los precios internacionales.

Contrario a lo que sucede en el país (Tabla 9B), el azufre a nivel mundial se cotiza más barato que el local. A pesar que esta diferencia ha venido disminuyendo con el tiempo, dicha tendencia se atribuye en parte a un aumento de la productividad en las plantas de proceso y a un incremento en la tasa de devaluación del peso con relación al dólar. (Tabla 10).

La ubicación de las plantas procesadoras con los principales centros de consumo, la tabla 9B nos permite conocer el valor final por tonelada del azufre nacional e importado, según su origen y destino. Si al precio de venta interno de US\$ 112/t azufre nativo y US\$90/t azufre petroquímico, se le agrega el valor del flete terrestre, tenemos que una tonelada puesta en la Costa Atlántica puede valer entre US\$117 y US\$155. Considerando el precio del azufre importado y sumándole el costo del flete marítimo, los gastos de nacionalización y demás costos de importación, (agosto, 1992) el material llegaba al puerto de Barranquilla a US\$85/t. En estas condiciones y manteniendo la proporción entre los costos de importación, el valor F.O.B. del azufre (Islas del Caribe) y los costos de transporte interno, el azufre importado puede competir con el azufre nacional en cualquiera de los centros de consumo. Aún suponiendo que se alcance un precio de US\$100/t, mantendría su competitividad en los mercados del norte y centro del país.

Tabla 10.
PRECIOS DEL AZUFRE
(dólares por tonelada)

AÑOS	COLOMBIA IMPORT. CIF-B/QUILLA	FOB GOLFO DE MEXICO (1)	FOB COLOMBIA MINA O PLANTA
1971	43	40	
1972	47	40	
1973	33	26	
1974	54	40	
1975	80	58	
1976	113	62	
1977	65	61	
1978	57	62	
1979	68	68	
1980	151	108	197
1981	151	131	213
1982	124	140	192
1983	110	130	169
1984	119	133	151
1985	159	142	145
1986	134	144	132
1987	119	130	120
1988	117	110	121
1989	115	108	121
1990	105	98	119
1991	92	93	114
1992	68	60	100

(1) Precio de los contratos a término de los productores de USA en puertos del Golfo de México.

Fuente: Engineering and Mining Journal, 1992; Monómeros, Industrias Puracé y ECOPEPETROL.

Estas apreciaciones son especialmente importantes ahora que se fomenta la libre importación con motivo de la apertura económica. Bajo este nuevo esquema económico, las variables de calidad y precio juegan un papel fundamental. Aquellas empresas con flexibilidad en los márgenes de utilidad y costos pueden afrontar el reto de la apertura. Sin duda, las empresas petroquímicas pueden soportar mejor esta situación, ya que el azufre producido es, después de todo, subproducto de un proceso que ha ab-

sorbido la mayor parte de los costos.

Por esta razón, colocar el precio interno al nivel de precios externos, se convierte en un simple ejercicio que muestra la necesidad de intervenir, a fin de mejorar su participación en el mercado. La nueva planta de azufre de ECOPEPETROL en Cartagena es un buen ejemplo de ello; su principal cliente es Monómeros, quien podrá dejar de importar los volúmenes que actualmente requiere. En 1993 la tonelada de azufre líquido en Cartagena, costaba US\$ 50.

Proyecciones

Con el objeto de pronosticar cual podría ser la demanda interna hasta el año 2000, se ha tomado como base el consumo entre los años 1971 y 1991. El análisis de regresión practicado nos indica que la demanda de azufre elemental se incrementa en 2.600 t/año. (Ecuación de la recta: $Y = 2.600 X + 34.000$. Coeficiente de correlación = 0,95. El nivel de consumo reportado para 1978 fue suavizado a 60.000 toneladas). Adicionalmente a este estimativo, se ha considerado el efecto en la demanda que podrían tener proyectos como los de industrialización de la roca fosfórica parcialmente acidulada y el montaje de una planta de ácido fosfórico para producir tripolifosfato sódico y fosfato bicálcico.

Las consideraciones y estimaciones previstas en el análisis de proyección se ilustran en la tabla 11, donde se muestra el modelo de comportamiento futuro de la demanda interna para el período 1992-2000. Bajo esta hipótesis, el pronóstico de demanda señala que el consumo de azufre elemental por lo menos aumentará en un 13% al llegar el año 2000, tomando como referencia el escenario de menor crecimiento (tasa media anual = 1,5%). En el escenario de mayor crecimiento, el consumo podría casi duplicarse (82%) con una tasa media de crecimiento anual de 7%. Entre estos dos extremos, la alternativa de referencia (nivel de consumo más probable) nos indica que la demanda para el año 2000 se incrementará en un 25%, con una tasa de crecimiento promedio anual del 2,5%.

Tabla 11.
FUTURA DEMANDA INTERNA DE AZUFRE ELEMENTAL
(Miles de toneladas)

AÑOS	ALTERNATIVA BAJA 1,5%	ALTERNATIVA REFERENCIA 2,5%	ALTERNATIVA ALTA 7%
1992	93	95	95
1993	95	97	98
1994	96	100	107
1995	97	102	116
1996	99	105	126
1997	100	108	136
1998	101	110	146
1999	102	113	156
2000	104	115	167

Alternativa Baja: Considera un incremento anual de 1.300 toneladas (2.600/2).

Alternativa de Referencia: Considera un crecimiento neto anual de 2.600 toneladas según los cálculos de regresión efectuados para el período 1971-1991.

Alternativa Alta (Kta):

1992:	92 + 2,6 (a)	=	95
1993:	95 + 2,6 (a) + 0,3 (b)	=	98
1994:	98 + 2,6 (a) + 0,6 (b) + 6,0 (c)	=	107
1995:	107 + 2,6 (a) + 0,8 (b) + 6,0 (c)	=	116
1996:	116 + 2,6 (a) + 1,1 (b) + 6,0 (c)	=	126
1997:	126 + 2,6 (a) + 1,3 (b) + 6,0 (c)	=	136
1998:	136 + 2,6 (a) + 1,5 (b) + 6,0 (c)	=	146
1999:	146 + 2,6 (a) + 1,8 (b) + 6,0 (c)	=	156
2.0000:	156 + 2,6 (a) + 2,0 (b) + 6,0 (c)	=	167

(a) Incremento histórico anual de la demanda de azufre.

(b) Requerimiento de azufre por industrialización de la roca fosfórica.

(c) Requerimiento de azufre por montaje de una planta de ácido fosfórico.

Fuente: MINERALCO S. A. 1992.

Como se mencionó anteriormente, la producción de azufre en Colombia aumentó significativamente en el período 1980 - 1987. De un Volumen promedio anual de 27.400 toneladas al final de la década de los setenta, la oferta se incrementó sustancialmente a 65.500 toneladas en 1987 (tasa media anual de crecimiento = 11,5%). No obstante lo anterior, durante el último cuatrienio la situación cambió y

la oferta, aunque creció, lo hizo en baja proporción (aprox.4%).

De acuerdo con las expectativas futuras de producción, Industrias Puracé estaría en condiciones de ofrecer entre 46.000 y 50.000 toneladas de azufre al año. ECOPETROL por su lado aportaría 15.600 toneladas en 1992 y 22.000 en los años subsiguientes. Entre los proyectos factibles de

Tabla 12.
OFERTA INTERNA E IMPORTACIONES FUTURAS DE AZUFRE ELEMENTAL
 (Miles de toneladas)

ESCENARIO OPTIM (PROD. ALTA Y DEMANDA BAJA)			ESCENARIO DE REF. (PROD. Y DEM. DE REF.)			ESCENARIO PESIMISTA (PROD. BAJA Y DEM. ALTA)		
OFERTA	DEMANDA	DEFICIT	OFERTA	DEMANDA	DEFICIT	OFERTA	DEMANDA	DEFICIT
66	93	27	64	95	31	62	95	33
72	95	23	70	97	27	64	98	34
72	96	24	70	100	30	64	107	43
72	97	25	70	102	32	64	116	52
72	99	27	70	105	35	64	126	62
100	100	0	70	108	38	64	136	72
100	101	1	70	110	40	64	146	82
100	102	2	70	113	43	64	156	92
100	104	4	70	115	45	64	167	103
754	887	133	624	945	321	574	1.147	573

Baja: (Kta): 46 Puracé + 18 ECOPEPETROL (22x 0.80) = 64 De referencia (Kta): 48 Puracé + 22 ECOPEPETROL = 70
 Alta (Kta): 50 Puracé + 22 ECOPEPETROL (12+10/planta en Cartagena) = 72
 50 Puracé + 50 ECOPEPETROL (22+28/Nueva refinaria) = 100

Fuente: Industrias Puracé, ECOPEPETROL Y MINERALCO S.A. 1992.

ejecutar se contempla la construcción de una nueva refinaria, la que contaría con otra planta de azufre con capacidad de producción de 28.000 t/año. Aunque en este tipo de eventos no se puede precisar una fecha de ejecución, todo parece indicar que la nueva planta no entraría en operación antes de 1997.

La oferta interna futura y el pronóstico de importaciones de azufre elemental para el período de 1992- 2000 se muestran en la tabla 12. El modelo de oferta planteado considera tres alternativas posibles, elaboradas de acuerdo a las expectativas de producción para los siguientes 9 años. El déficit, o nivel de importación futuro varía según corresponda a un escenario optimista, pesimista o de refe-

rencia. En el escenario optimista, la oferta crece a un ritmo más acelerado que la demanda. La hipótesis prevé superar el déficit en 1997 con la producción de la planta de azufre de la nueva refinaria. Las importaciones en la primera mitad del período serían aproximadamente de 25.000 toneladas. En el escenario de referencia, la oferta se mantiene en 70.000 toneladas y la demanda crece anualmente. El déficit fluctúa entre 60.000 y 45.000 toneladas. En el escenario pesimista o alternativa de mayor crecimiento del déficit, las importaciones se incrementan en 9.200 t/año. Bajo este supuesto, la producción se mantiene en 64.000 toneladas/año y la demanda crece aceleradamente. La figura 4 ilustra cómo se amplía el déficit de producción en la medida que avanzan los años de proyección.

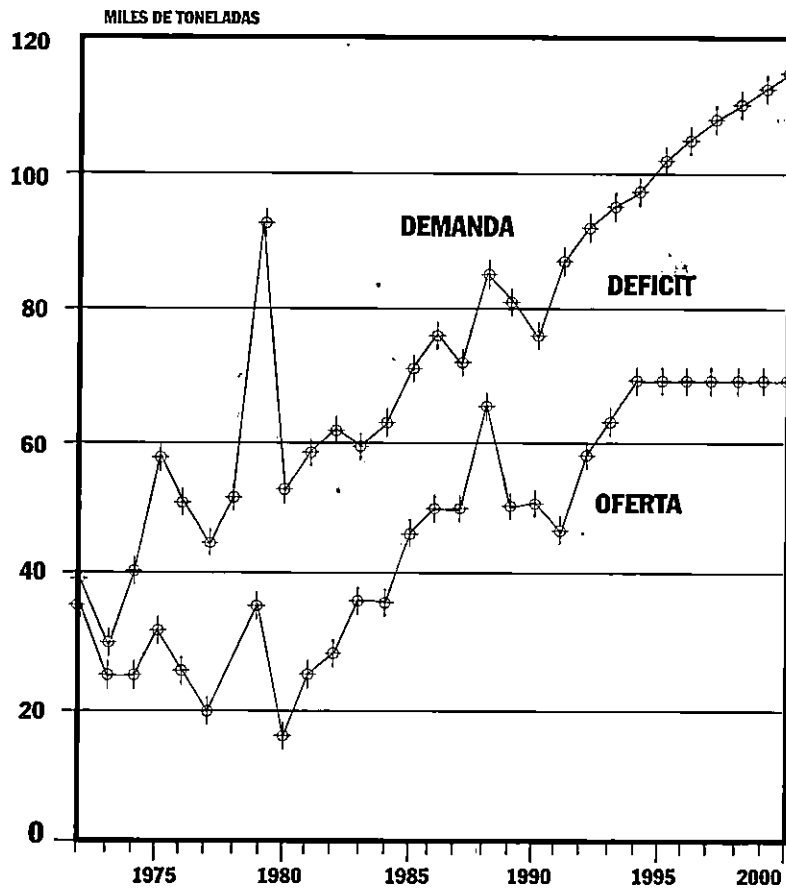
El escenario optimista sería el límite inferior y el pesimista el límite superior. Los factores determinantes que más están incidiendo a dilatar los intervalos de predicción son, en efecto, el eventual montaje de una planta de azufre en la nueva refinaria, la posible industrialización de la roca fosfórica y las expectativas en torno a la planta de ácido fosfórico.

A nivel minero, sólo se produce azufre en la mina El Vinagre, en Puracé, que representa el 80% de la producción nacional (45.000 toneladas año).

El 20% restante proviene de la refinación del petróleo. El potencial minero se reduce por ahora a los cinturones volcánicos de las cordilleras Central y Occidental.

OFERTA Y DEMANDA DE AZUFRE EN COLOMBIA (ESCENARIO DE REFERENCIA²)

Figura 4.



Fuente: Mineralco S.A. 1992.

Tabla 13.
VALOR DE LAS IMPORTACIONES DE AZUFRE
COLOMBIA 1992 - 2.000
(Escenario de Referencia)

AÑO	VOLUMEN (TONELADAS)	VALOR (MILES US\$)
1992	31.000	2.100
1993	27.000	1.800
1994	30.000	2.000
1995	32.000	2.200
1996	35.000	2.400
1997	38.000	2.600
1998	40.000	2.700
1999	43.000	2.900
2.000	45.000	3.100

NOTA: A precios CIF B/quilla y en dólares de 1992 (US\$68/t).
Fuente: Mineralco S. A.

Desde el punto de vista del valor de las importaciones de azufre, la tabla 13 muestra claramente los recursos en divisas que el país tendría que gastar anualmente para suplir el déficit de oferta. En el escenario de referencia se importaría azufre por un valor que escasamente sobrepasa los 3 millones de dólares, a final de siglo.

RECOMENDACIONES

Por el momento no se justifica promover exploración o desarrollos mineros para el azufre nacional. Teniendo en cuenta la sobre-oferta y los bajos precios, la importación de azufre resulta más ventajosa, si se compara el precio del producto nacional subsidiado.

Se recomienda utilizar el azufre producto de los desechos industriales (ácido sulfúrico reciclado) para el proceso de acidulación de la roca fosfórica.

A la luz de estas estimaciones es evidente suponer que el azufre no es recurso prioritario que amerite incluirse en un plan minero de exploración nacional. Esta apreciación se encuentra en concordancia con la tendencia mundial de sustituir el azufre nativo por el petroquímico, en un contexto de competitividad y libre comercio entre las naciones.

Considerando la tendencia a la baja de los precios internacionales del azufre, la apertura económica y la logística e infraestructura requerida

en torno a los centros de producción y consumo, se concluye que es difícil emprender nuevos proyectos mineros de azufre en el futuro inmediato.

Consecuentemente, lo más apropiado sería realizar sondeos periódicos de mercado, particularmente sobre las condiciones futuras de eventos tales como:

Grado de sustitución de derivados del azufre: Uno o más proyectos de

esta naturaleza pueden aumentar los niveles de consumo por encima de las expectativas de demanda futura. Como se mencionó al referirse a las exportaciones, Colombia obtiene los derivados del azufre exclusivamente del azufre nativo o petroquímico.

Industrialización de la roca fosfórica y desarrollo del proyecto de construcción de una refinería: En el primer caso, el déficit fluctuaría en función de la demanda de ácido

sulfúrico que depende del grado de industrialización alcanzado. Suponiendo, todos los demás factores constantes, la ejecución del proyecto de construcción de una nueva refinería en la década de los noventa, sustituiría casi por completo las importaciones.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Reservas y Reserva Base de azufre en el Mundo.
TABLA 2. Producción Mundial de Azufre en todas las Formas (SAF).
TABLA 3. Producción de Azufre (SAF) en el Mundo Occidental.
TABLA 4. Principales Fuentes de Azufre en todas sus Formas.
TABLA 5. Oferta - Demanda de Azufre en el Mundo.
TABLA 6. Empresas que Integran la Demanda de Azufre en Colombia (1991).
TABLA 7. Producción de Azufre en Colombia.
TABLA 8. Producción, Importaciones, Exportaciones y Consumo Aparente de Azufre en Colombia.
TABLA 9.A. Precios del Azufre Colombiano FOB Mina o Planta.
TABLA 9.B. Precios del Azufre según Origen y Destino.
TABLA 10. Precios del Azufre.
TABLA 11. Futura Demanda Interna de Azufre Elemental.
TABLA 12. Oferta Interna e Importaciones Futuras de Azufre Elemental.
TABLA 13. Valor de las Importaciones del Azufre Colombia 1992 - 2000.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Fuentes y Usos del Azufre y del Acido Sulfúrico a Nivel Mundial.
FIGURA 2.A. Producción Mundial de Azufre en todas las Formas.
FIGURA 2.B. Demanda Mundial de Azufre en todas las Formas por Regiones.
FIGURA 3. Localización de Proyectos y Prospectos Mineros para Azufre.
FIGURA 4. Oferta y Demanda de Azufre en Colombia.

BIBLIOGRAFIA

- BAIN, B., 1993. Sulphur. Metals & Minerals Annual Review (1992-1993).
DANE, 1992. Banco de Datos. Santafé de Bogotá.
ECKERT, G. F., gr., 1991. Sulphur. Engineering & Mining Journal, March 1991; March 1990.
FOSTER, R. B., 1995. Sulphur. Engineering & Mining Journal, March 1995; March 1993.
IEC-INTEGRAL, 1985. Estudio para la Formulación del Plan Nacional de Desarrollo Minero.
INGEOMINAS, 1987. Recursos Minerales de Colombia 2a. Edición P: 697-724. Bogotá.
MINERALCO S.A., 1992. Estadísticas del Sector Minero Inf. No. 7-8.
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Boletín Minero Energético 1993. Bogotá.
MORSE, D. E., 1989. Sulfur Minerals Yearbook 1988, 1989.
SHELTON, J., 1985. Sulphur. Mineral Facts and Problems. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines Bul 671. P: 877-898. Washington.
U.S. BUREAU OF MINES, 1990. Mineral Commodity Summaries.

Minerales

Estratégicos

para el desarrollo

de Colombia

MEDC

G RUPO 6
MINERALES
ENERGETICOS

CARBON



Introducción

El carbón ha sido el mineral energético por excelencia en Colombia, se usa desde antes de la época de la conquista; sin embargo, al igual que en el resto del mundo, el siglo XX significó para Colombia la entrada en escena de un combustible que había de desplazar al carbón a lo largo del siglo, por razones económicas de su extracción, transporte y uso industrial: El petróleo.

A mediados de los años 70, aparece por primera vez en el escenario internacional la variabilidad de los precios del petróleo, el cual pasa de ser un combustible abundante y barato a ser costoso y escaso. Los precios del petróleo y sus derivados comienzan a tener acceso de manera impredecible, generando fuerzas cuyo desenvolvimiento se traduce en una modificación en el uso de las diferentes fuentes de energía, en los años posteriores. El precio del carbón que tradicionalmente era competitivo solamente en los mercados cercanos

a los centros de producción pasó a ser competitivo a nivel internacional. El carbón, que había quedado relegado a un segundo plano, empieza a mirarse de manera diferente, gracias a las razones económicas programáticas del precio del petróleo que hicieron modificar esta actitud, pues el carbón es un combustible que no está sujeto a las fluctuaciones de tipo geopolítico que usualmente presenta el petróleo.

La crisis energética de la década de los setenta y el replanteamiento que se hizo a nivel mundial en la política de abastecimiento de los combustibles, abrió a Colombia la posibilidad de participar de manera significativa en el mercado internacional del carbón. Simultáneamente, el país pasó de exportador a importador neto de petróleo, lo que le obligó a pensar en posibilidades de aprovechamiento de ese enorme potencial de reservas carboníferas con miras a diversificar su oferta exportable y estabilizar la

balanza de pagos, originando de esta manera inversiones en grandes proyectos de minería como son las explotaciones de los carbones de El Cerrejón en la Guajira, mediante la asociación de esfuerzos nacionales e internacionales.

Carbones de Colombia S.A., CARBOCOL, se creó en 1976 con el fin de impulsar el desarrollo de la política gubernamental en el sector carbonífero colombiano. Posteriormente, en 1993, se produjo su reestructuración mediante la cual Carbocol estaría dedicado exclusivamente al manejo del proyecto de El Cerrejón como contraparte del socio extranjero INTERCOR, y se creó una nueva empresa denominada ECOCARBON para el manejo del recurso carbonífero en el resto del país.

El importante desarrollo de la industria de carbón en Colombia, se evidencia al observar las cifras de producción nacional, que pasaron de 2,5 Mt en 1970 a 22,6 Mt en 1994, con su consecuente contribución a la economía nacional.



CARBON

ECOCARBON (1)

SITUACION MUNDIAL

Aspectos Geológico-Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El ambiente deposicional determina en un grado la distribución lateral, el espesor, la composición y la calidad del carbón.

La formación y preservación de depósitos de turba, primer estado de la formación del carbón, requiere que en el ambiente haya una alta productividad orgánica y una lenta subsidencia continua, de tal forma que la tabla de agua esté en o cerca a la superficie de la turba, y en el cual la turbera esté protegida por períodos prolongados de tiempo de la invasión de aguas marinas o el influjo de sedimentos clásticos.

SITUACION DE LAS RESERVAS MUNDIALES

Se estima que actualmente las reservas de carbón económicamente recuperables con la tecnología disponible, son de 1023 miles de millones de toneladas métricas, de las cuales 133 son lignitos. El hecho de que las reservas de este recurso se encuentren distribuidas en 5

RESERVAS MUNDIALES RECUPERABLES DE CARBON
Figura 1 VALORES EN MILES DE MILLONES DE TONELADAS

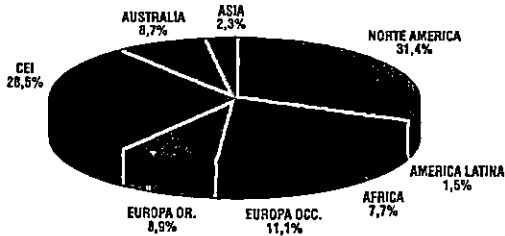


Fuente: WCI.

(1) ECOCARBON, Santafé de Bogotá.

RESERVAS RECUPERABLES DE CARBÓN
 TOTAL 1023 MILER DE MILLONES DE TONELADAS

Figura 2



continentes y en más de 40 países, (Figura 1), hace difícil que el suministro de este combustible fósil se vea afectado por razones de índole política.

En el caso de América Latina, las reservas son del orden del 12,5 miles de millones de toneladas (Figura 2), de las cuales el 50% se encuentran localizadas en el territorio colombiano. No sólo existe gran abundancia de este recurso en Colombia, sino que además, se trata de un combustible de alto poder calorífico, comparable con los mejores del mundo, como lo son los de U.S.A. y Australia y superior al Surafricano, ideal para generación de electricidad.

TIPOS DE MINERÍA

El carbón para uso térmico que participa en el mercado mundial, procede de operaciones que aplican los métodos de explotación de minería de superficie, en la que los costos permiten competir dentro de los niveles de precios en que se mueve el mercado de este tipo de carbón. Esto se obtiene, gracias a la utilización de equipos de gran capacidad, especialmente para la remoción de grandes volúmenes de material. Los equipos más usados para este propósito son la combina-

ción pala-camión, las dragas y las excavadoras con ruedas de canchilones.

Los carbones para uso metalúrgico, en su gran mayoría, se explotan por métodos de minería subterránea; existen grandes operaciones de minería de superficie para este tipo de carbón, especialmente en

Fuente: WCI.

Estados Unidos y Canadá. En la minería bajo tierra se están obteniendo altas productividades, mediante el método de explotación en tajo largo para los cuales, en el caso de Estados Unidos, ha habido importantes desarrollos tecnológicos, siendo comunes las minas subterráneas con producción de varios millones de toneladas al año. Los equipos usados en estos tajos largos, están compuestos por máquinas de arranque continuo combinados con sistemas de soporte hidráulico y bandas transportadoras que evacuan el carbón en una sola etapa hasta la superficie.

Estructura de la Industria

El carbón se ha venido utilizando por la humanidad desde hace más de 2000 años, con variadas aplicaciones: para calefacción de hogares, como elemento reductor en la producción de metales, para la producción de gas de bajo, medio y alto poder calorífico, como fuente de materias primas en la industria química, en plantas generadoras de electricidad, para producir combustibles líquidos y recientemente para producir materiales con características especiales como las fibras de carbono.

El petróleo sintético a partir del carbón, tuvo su máxima producción durante la Segunda Guerra Mundial, época en la que se producían 25,5 millones de barriles por año (1944), de los cuales a 17 millones de barriles se les adicionaba plomo para producir gasolina para aviones y vehículos terrestres con un número de octano de 100. Al finalizar la guerra, la conferencia de Postdam (1945) prohibió la producción de petróleo sintético, a partir del carbón en Alemania. Pero, para esta época ya existían laboratorios y plantas para procesar el carbón en varios países del mundo.

Después de la Segunda Guerra Mundial se descubrieron grandes reservas de petróleo, especialmente en el Medio Oriente, razón por la cual las investigaciones sobre la producción de petróleo sintético disminuyeron en todo el mundo.

La tecnología para obtención de productos químicos y carboderivados en los países industrializados es conocida desde el siglo pasado, y se ha ido perfeccionando durante el siglo XX, particularmente en Alemania, Suráfrica, Inglaterra, Estados Unidos, Canadá y últimamente el Japón.

Las tendencias de investigación en la relación energía-investigación y desarrollo tecnológico, que se vienen realizando específicamente en el campo de la energía a partir del carbón, en el marco del programa de "Carbón Limpio" de los Estados Unidos con un monto de US\$5.000 millones. Es así como se está investigando sobre: Tecnologías de limpieza del carbón, tecnologías de control y preparación del

carbón, investigaciones y desarrollos tecnológicos avanzados, sistemas de combustión, celdas combustibles, turbinas a gas y máquinas Diesel y gasificación de carbón "in situ" y en superficie. De dichas investigaciones las más relevantes son:

- **Tecnologías de limpieza del carbón.** Con la ejecución del "Clean Coal Technology - Demonstration Program" se pretende que en los Estados Unidos se pueda seguir utilizando el carbón con el empleo de tecnologías más eficientes y no contaminantes. Dicho programa considera las siguientes categorías: limpieza en la pre-combustión durante la combustión y postcombustión y conversión del carbón.
- **Filtros de cerámica.** A través de esta investigación se viene desarrollando el uso de la cerámica para la separación de gases a altas temperaturas, como sería la recuperación y remoción de CO₂ y H₂S en el proceso "Ciclo combinado integrado con gasificación de carbón" para la generación de energía eléctrica y la remoción de SO_x y NO_x en los procesos de combustión directa del carbón.
- **Programa de combustión en lecho fluidizado:** tanto atmosférico como presurizado, para la generación de energía eléctrica. Con él están desarrollando conceptos avanzados aplicables a pequeños mercados industriales y comerciales.
- **Participación en el desarrollo del proceso "Ciclo combinado integrado con gasificación de carbón"** para generación de energía eléctrica. Según los investigadores, dicho desarrollo y la gasificación del carbón para la obtención de gases combus-

tibles y para desarrollar la industria carboquímica, son algunos de los prototipos de las mejores tecnologías limpias del carbón.

Hoy, el sector carbón es determinante en el desarrollo de los países, a tal punto que grandes recursos y numerosos centros de investigación, dedican esfuerzos considerables a la innovación de tecnologías capaces de satisfacer los requerimientos de dicho recurso, y a la vez preservar el medio ambiente.

RESTRICCIONES AMBIENTALES

El carbón, enfrenta serios retos cada vez que se analiza su utilización, debido a las implicaciones ambientales que se originan a consecuencia de su uso en procesos de combustión.

Dos fenómenos de efecto ambiental negativo se presentan como retos a resolver por la comunidad internacional. Estos son los conocidos como lluvia ácida e incremento del efecto invernadero.

La lluvia ácida que afecta bosques y corrientes de agua con las formas de vida que los habitan, se produce al combinarse los gases SO₂ y NO_x, producto de la combustión de combustibles fósiles, con la humedad del aire atmosférico.

El efecto invernadero, que consiste en la retención por la atmósfera de parte de la energía solar que incide sobre la superficie del planeta, permite que la temperatura de éste se sitúe en el rango habitable para las distintas formas de vida que conocemos.

El incremento de este efecto podría conducir al aumento de la temperatura terrestre hasta afectar el nivel de los océanos y cambiar sensiblemente la distribución de las zonas de agricultura.

Se considera a los siguientes gases: vapor de agua (H₂O), ozono (O₃), metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂), como gases asociados al efecto invernadero.

El ritmo actual de incremento anual de algunos de los gases que aumentan el efecto invernadero son: según W.C.I. (1990).

OXIDO NITROSO (NO ₂)	0,3%
BIOXIDO DE CARBONO (CO ₂)	0,4%
METANO (CH ₄)	1,3%
FREON 11 (CFC)	5,0%
METIL CLOROFORMO (CFC)	10,0%

Si bien, actualmente el bióxido de carbono constituye la mitad de los gases de invernadero aportados a la atmósfera por la actividad humana, las tasas de aumento del efecto de invernadero de los otros gases reducirá eventualmente su participación relativa.

La contribución de las diferentes actividades humanas a la producción de CO₂ es según Sullivan (1988):

• DEFORESTACION Y USO DE LA TIERRA	32%
• COMBUSTION DE COMBUSTIBLES FOSILES INCLUYENDO AL CARBON	66%
• OTROS	2%

Los gases agrupados bajo la denominación "otros" son principalmente:

cloro-flúor-carbonos, metano, ozono y óxido nítrico.

El 24% del CO₂ producido por los combustibles fósiles quemados proviene del carbón empleado en centrales termoeléctricas, por lo tanto, el carbón contribuye con el 16% del bióxido de carbono emitido a la atmósfera por la actividad humana.

Teniendo en cuenta que la actividad humana aporta sólo la mitad de la emisión del bióxido de carbono a la atmósfera, se concluye que el carbón utilizado en las centrales termoeléctricas a nivel mundial contribuye con sólo el 8% del total de emisión de gases de efecto invernadero.

Es pertinente observar la composición del origen de la emisión del gas metano a la atmósfera (W.C.I., 1990).

Actividad

• TIERRAS HUMEDAS	21%
• CAMPOS DE ARROZ	20%
• DESTRUCCION DE BOSQUES	18%
• ANIMALES	15%
• MINERIA CARBON, PETROLEO, GAS	15%

La minería del carbón y la explotación del petróleo y gas constituyen una fracción menor total.

El efecto invernadero tiene una realidad física incontrastable, es un hecho científico, pero la relación causa-efecto entre los gases de efecto invernadero y el calentamiento global del planeta es todavía incierta.

Los científicos están de acuerdo en que se requiere más investigación so-

bre el efecto invernadero y la mecánica del ciclo de carbón, incluyendo el factor introducido por las nubes y el factor aportado por el océano al absorber al bióxido de carbono. Según los pronósticos hechos por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1992). Los modelos computarizados que omiten estos dos factores estiman que a largo plazo la temperatura promedio del planeta se elevará de 1,5 a 4,5°C a la tasa corriente de emisión de gases de efecto invernadero.

Introduciendo en estos modelos los factores nubes y océano, la predicción de aumento global de temperatura se reduce a la mitad.

Científicos de la NASA afirman que los datos recientes obtenidos con la ayuda de satélites demuestran que el planeta no ha variado su temperatura durante el presente siglo.

Es evidente entonces que se requiere todavía algún tiempo para que el razonamiento y la medición científica establezcan si existe un calentamiento global y cual es su relación causa-efecto con la actividad humana.

El ciclo combinado integrado por gasificación de carbón -IGCC-, la combustión en lecho fluidizado, la inyección de material absorbente en las cámaras de combustión de carbón pulverizado y la limpieza del carbón, son las opciones que a corto plazo ofrecen las mejores posibilidades técnicas y económicas para continuar incrementando el empleo del carbón, cumpliendo con las normas ambientales actualmente vigentes y con las futu-

ras restricciones que al respecto se impongan.

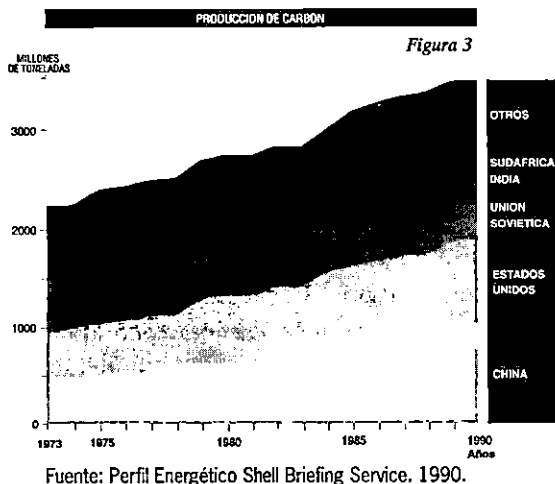
Las celdas de combustible y los sistemas magnetohidrodinámicos (MHD) se proyectan a largo plazo como opciones atractivas por su alta eficiencia y bajo impacto ambiental.

Características del Mercado

La producción mundial del carbón térmico bituminoso fue en 1994 de 3.506.468.000 toneladas métricas, con un incremento promedio en el lapso 1992-1994 del 1,39% y un incremento del 2,4% en el lapso 1993-1994 (figura 3). Durante el lapso 1992-1994 China incrementó su producción en 58.664.000 toneladas, y USA la incrementó en 30.037.000, la producción combinada de China y USA durante 1994 equivale al 59,66% de la producción mundial durante este año. (FI, Coal Year 1995). Otros grandes países productores son la C.E.I., Suráfrica y Australia.

Se espera para el año 2000 un incremento de producción entre 1,5 y 2% promedio anual, basados en los proyectos de ampliación de generación de energía conocidos en el mundo. Los países que más contribuyen a esta aumento son China, India, Suráfrica y América Latina.

Los proyectos de la industria carbonífera son buenos atractivos y están ligados a los incentivos para diversificación de su uso y al comportamiento de los precios del crudo y gas. Así mismo, su mayor crecimiento será para



mundial, siendo el primer productor Colombia con 22.600.000 toneladas, seguido por México con 10.000.000 de toneladas. La producción se verá incrementada por los proyectos que se están llevando a cabo en Venezuela y Colombia, para llegar a producir entre estos dos países para la exportación durante el año 2.000, 55 millones de toneladas

aproximadamente, orientada para la exportación a los mercados de USA y Europa principalmente. (Plan Desarrollo, FT coal Year Hill).

DEMANDA

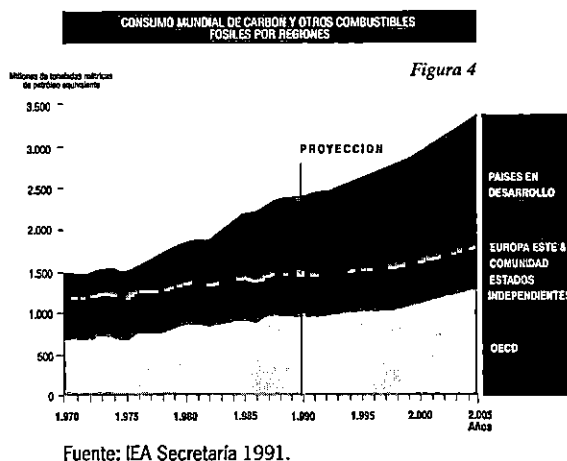
Si bien el carbón fue la fuente energética más importante hasta los años 60, se espera que durante los años 90 y principios del nuevo siglo se den acciones tendientes a acelerar su consumo, de tal forma que retorne a su posición de importancia.

Estas acciones se basan en un nuevo concepto del carbón como combustible limpio, eficiente, barato, suficiente y seguro. Con este propósito se hacen avances tecnológicos en el uso del carbón, por ejemplo el programa de "carbón limpio" y las mejoras en eficiencia en la generación eléctrica, reconociendo ésta como el principal uso del carbón. Por tanto, se espera que en los países desarrollados el crecimiento en la demanda sea más lento en el mediano

plazo (menos del 1% anual) y se acelere con el paso del tiempo, ya que este nuevo concepto del carbón implica mayores costos en su uso.

La demanda en los países en desarrollo, principalmente del Lejano Oriente, crecería en forma apreciable por ser la alternativa disponible. Cabe mencionar el relativo bajo consumo de carbón en Latinoamérica en donde representa apenas un 3% de la demanda mundial. No obstante, se tienen expectativas de aumento en la demanda por carbón en países como México y Estados Unidos, mercados potenciales para el carbón colombiano (Figura 4 y Tabla 1)

Cabe resaltar el posible impacto negativo que podría tener sobre la evolución de la demanda por carbón las acciones en materia ambiental, como es el impuesto al carbono y la eventual eliminación de los subsidios a la producción doméstica, principalmente en los países desarrollados de Europa.



OFERTA DE CARBÓN TÉRMICO

El carbón térmico destinado a los mercados de exportación vía marítima

aquellos carbones de mejor calidad y menor costo.

En este sentido se han desarrollado avances tecnológicos en procesos de transformación del carbón como son la gasificación, briquetas, y nuevas técnicas de manejo del carbón limpio, orientadas a cumplir con las normas exigidas de menor emisión de CO₂, para la conservación del medio ambiente.

Estos avances tecnológicos podrían incrementar el costo de producción del carbón, los cuales son más bajos en los nuevos países productores, como Australia, China y Latinoamérica, comparado con los productores tradicionales de Estados Unidos y Europa.

Las tendencias de desarrollo se basan en proyectos de estructura mediana, entre 1-2 Mt de producción anual, con incentivos para participación del capital privado. Los proyectos de minería pequeña, tienden a desaparecer por sus mercados locales.

Durante 1994, Latinoamérica representó el 1,34% de la producción

fue en 1994 de aproximadamente el 6,6% de la producción total (Figura 5 y Tabla 2). En 1994, se comercializaron por vía marítima 232 Mt; del tonelaje exportado durante este año, Australia suministró el 25%, Suráfrica el 21% y USA el 9,0%. Colombia fue el quinto país exportador por volumen, con 17,7 millones de toneladas, (17,2 por vía marítima), equivalente al 7,4% del mercado mundial por vía marítima (SSY). Los otros productores que juegan un papel importante dentro de la oferta mundial son Polonia, China, CEI, Indonesia, Canadá y Venezuela.

Tabla 1
DEMANDA INTERNACIONAL DE CARBÓN TÉRMICO
(Por vía Marítima - 1990-2000)

REGION	1995	2000
	(millones de toneladas)	
Europa Occ.	88,3	106,8
Europa Orié.	4,8	9,6
USA	4,3	9,5
Canadá	3,9	4,8
Latinoamérica	3,7	7,3
Cuenca del Pacíf.	119,2	150,1
Otros	13,8	17,8
TOTAL	238	305,7

Fuente: (Hill & Assoc).

Las principales regiones que demandan carbón son: Europa Occidental que en 1994 importó 79 millones de toneladas aproximadamente, y el Asia que importó 96 millones de toneladas aproximadamente. Las otras regiones que se destacan son: América con 9 millones de toneladas e Israel con 5,0 millones de toneladas. (WEFA).

La posición geográfica de cada uno de los países productores, es una de las principales razones que determinan los mercados tradicionales de cada

uno de ellos. En el caso de Australia el 77% de su exportación total de carbón se dirige al Asia, principalmente al Japón, y el 17,3% a los países de la OECD (excluyendo a Japón). (SSY).

Suráfrica es el único productor que, debido a su ubicación estratégica, puede destinar importantes volúmenes de sus exportaciones, de 55,4 millones de toneladas durante 1994, tanto al mercado europeo (30,4 Mt), como al del Asia (17,6 Mt.) (SSY). El excedente lo exporta a Israel y Brasil.

Estados Unidos y Colombia, tienen como mercado natural el de Europa, al cual exportaron durante 1994, 37,9 Mt y 14,8 Mt respectivamente. El 84,6% de las exportaciones vía marítima de Colombia se dirigieron durante 1994 a Europa, el 17,7% a USA y el 5,1% a Israel. (SSY)

La mayoría del carbón comercializado se utiliza para generar energía eléctrica, por lo cual los consumidores compran, aproximadamente, entre el 20 y 30% en el mercado spot y mantienen la mayoría de sus suministros bajo contratos a largo plazo (70 a 80%).

Aunque dichos contratos se realizan por dos años o más, el precio es negociado anualmente. En la actualidad, se ha hecho frecuente utilizar los contratos "Ever Green" que implican la extensión del contrato, por un año adicional, cada vez que se realiza la negociación anual del precio. Esto en la práctica lleva a que los contratos sean por un tiempo indefinido dándole la seguridad, tanto al comprador como al oferente, de contar con un suministro seguro y un mercado fijo.

La localización geográfica de cada productor le da ventajas comparativas frente a otros en determinados mercados y por ello el costo del transporte marítimo pasa a jugar un papel primordial en el precio del producto. Para dar una idea de lo anterior, en el caso de Colombia, el flete típico del barco más grande, conocido como "Capesize" (entre 100 y 120 mil toneladas) a Rotterdam, es, a fines de julio de 1995, del orden de US\$7,35 por tonelada. Mientras que para Japón, el costo asciende a US\$17,25 por tonelada. Si el transporte se realiza en un barco tipo "Panamax" (aprox. 60 mil toneladas), el diferencial de flete asciende a US\$12 por tonelada al Japón. (CWI julio 25 de 1995).

Los países productores que dominan el mercado internacional de carbón térmico, principalmente Australia, Suráfrica y Estados Unidos, han desarrollado una infraestructura minera, transporte interno y portuaria que les ha permitido estar presente en los principales mercados del mundo.

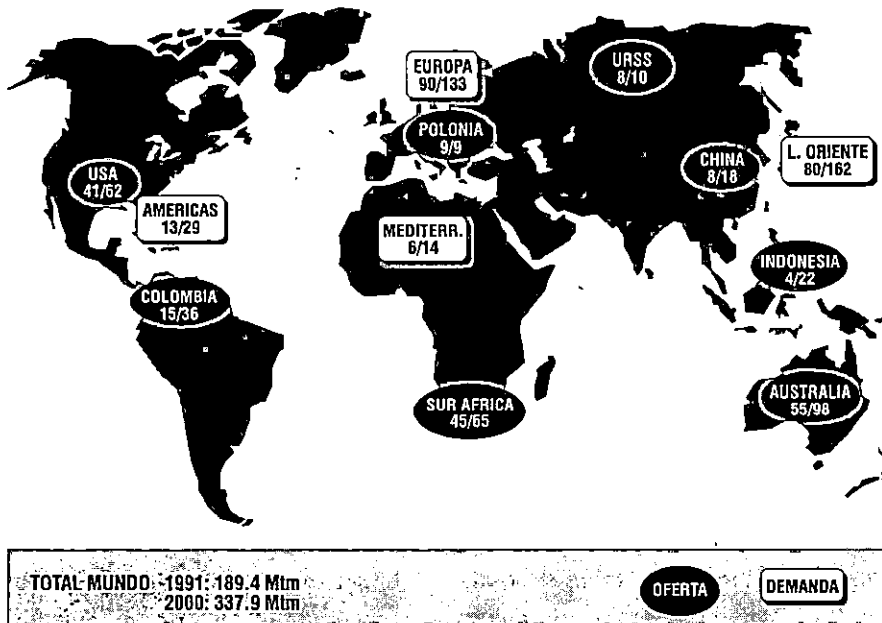
Tabla 2
OFERTA INTERNACIONAL DE CARBÓN TÉRMICO
(1995-2000)

PAIS	1995	2000
	(millones de toneladas)	
Australia	61,1	86,1
Canadá	5,7	7,7
Europa del Este	16,7	16,7
América Latina	31,4	55,5
Cuenca del Pacíf.	48,3	60,0
Suráfrica	50,7	56,9
USA	17,1	17,6
Europa Occi.	1,9	2,0
TOTAL	238	305,7

Fuente: (Hill & Assoc)

MERCADO INTERNACIONAL DE CARBON TERMICO 1991 - 1992

Figura 5



Fuente: WCI.

Si Colombia pretende incrementar su participación al 10% del total del mercado internacional en el año 2000, es indispensable llevar a cabo un programa de inversiones, que le permita competir con los ya consolidados países mencionados anteriormente. Para que dichas inversiones se realicen en forma eficiente, se debe buscar que la infraestructura pueda ser utilizada por los diferentes productores, lográndose así beneficios comunes en términos de ahorros en costos de transporte, puesto y comercialización, debido a las economías de escala implícitas.

PRECIOS

Si bien históricamente los precios del carbón en el mercado internacional tuvieron como referencia los del fuel oil, en la actualidad se observa un precio que refleja transacciones spot o

contractuales, en que los precios FOB y CIF incluyen costos de producción y transporte, según sea el caso interno o externo, así como inversiones en la mejora de calidad por sus efectos ambientales.

Existe una gran diferencia en los precios domésticos de Europa y de Estados Unidos y Australia pues los de estos últimos están por debajo, debido a que en los precios de los países europeos están incluidos los subsidios que como medida proteccionista otorgan los gobiernos a sus explotaciones, principalmente en el Reino Unido y Alemania, donde los precios para la industria y generación de electricidad superan los US\$70/t., mientras en Estados Unidos y Australia son menores de los US\$50/t y en Colombia en el mercado doméstico el industrial paga menos de US\$25/t.

Proyecciones

Colombia, dentro del propósito de ampliar su participación en el mercado internacional, proyecta sus precios con base en una metodología que identifica perspectivas de evaluación de la demanda y de la producción por regiones y países, y de las funciones de costo, según las cuales se ven posibles decisiones de producción.

Conviene señalar que esta metodología se apoya igualmente en los criterios que tienen los países consumidores en diversificar las fuentes energéticas, como los países suministradores. Con esta metodología se estiman precios corrientes FOB Puerto Bolívar alrededor de 37 US\$/t. durante los próximos dos años, y en algunos de los escenarios y análisis de precios para el año 2000, se prevé que el precio FOB mencionado suba, en dólares corrientes, a 43 US\$/t. aproximadamente.

NIVEL NACIONAL

Aspectos Geológico - Mineros

AMBIENTE GEOLOGICO Y TIPOS DE DEPOSITO

El ambiente depositacional influye en gran medida sobre la distribución lateral, el espesor, la composición y la calidad del carbón. En el país, se han realizado investigaciones en algunas cuencas carboníferas (Durán 1981), con el fin de determinar el ambiente de formación de los carbones. A continuación se resumen los resultados obtenidos.

Cuenca de El Cerrejón

“La Formación Cerrejón” es el producto de la progradación de un delta con sub-facies, sub-acuosas y sub-aérea gradando a ambientes continentales. La parte basal y la parte media de la formación comprende un ambiente deltáico sub-acuoso, que gradaba de sub-ambiente de “espalda de barrera” con “llanuras mareales” a sub-ambientes “lagunares y pantanosos”; pasando de un ambiente deltáico sub-aéreo a continental en la parte superior de la secuencia estratigráfica de la “Formación Cerrejón”.

Cuenca de San Jorge

Los ambientes de depositación encontrados indican que la Formación Cerrito se depositó en una cuenca marina somera, separada del mar por medio de una serie de barreras y en la que se generaron abundantes subambientes de pantanos salobres que dieron origen a mantos de carbón. Los subambientes de pantanos están asociados a diversos subambientes que se generaron por la interacción de mar-continente. El ambiente general de depositación es de pantanos salobres en una cuenca marginal costera, que pasa gradualmente a un ambiente continental pantanoso.

Cuenca de San Luis

El análisis facial revela que el miembro superior de la Formación Umir corresponde a un plano deltáico progradante sobre un lagon y barrera de islas pobremente desarrolladas. El conjunto inferior de esta miembro comprende un ambiente deltáico sub-aéreo. El conjunto medio corresponde a un ambiente deltáico sub-acuoso,

mientras que el conjunto superior presenta un plano deltáico intermedio sub-acuoso gradando a condiciones sub-aéreas y continentales.

Terciario carbonífero del Area

Leticia- Puerto Nariño (Amazonas)

Los datos litológicos, palinológicos y paleontológicos permiten afirmar que el paleoambiente de formación presentó condiciones muy variables. La secuencia carbonífera corresponde a un depósito parálico, formado en proximidad al mar, el cual lo invade en ocasiones. Este depósito posiblemente fue formado en un ambiente litoral, de espalda de barrera, en la zona correspondiente a los pantanos o marismas. Los mantos de carbón se caracterizan por ser generalmente delgados, con continuidad lateral variable dependiendo de la extensión de los pantanos y marismas.

Cuenca El Tambo - Patía (Cauca)

El ambiente de depositación de los carbones es netamente continental sin influencia marina, en áreas de pantanos de agua dulce y se encuentran relacionados a la Formación Mosquera.

Depósitos y Proyectos Mineros

Se conocen en el país 7 zonas carboníferas principales, que contienen el 95% de las reservas totales de carbón conocidas, distribuidas estratégicamente en cercanías a los principales centros de consumo. Las zonas están conformadas por áreas que han sido objeto de investigaciones geológicas y en donde generalmente se encuentra

algún proyecto minero importante o existen explotaciones de pequeña minería. Estas zonas son las siguientes (Figura 7).

Zona de El Cerrejón

Localizada en el departamento de la Guajira, al extremo noreste del país, hace parte del Valle del Río Ranchería, donde se extiende por 80 Km.

Los carbones se encuentran en la Formación Cerrejón, que contiene más de 50 m de carbón de los cuales 30 son mayores de 1 metro.

En la zona del El Cerrejón se divide en El Cerrejón Zona Norte, El Cerrejón Zona Central y El Cerrejón Zona Sur.

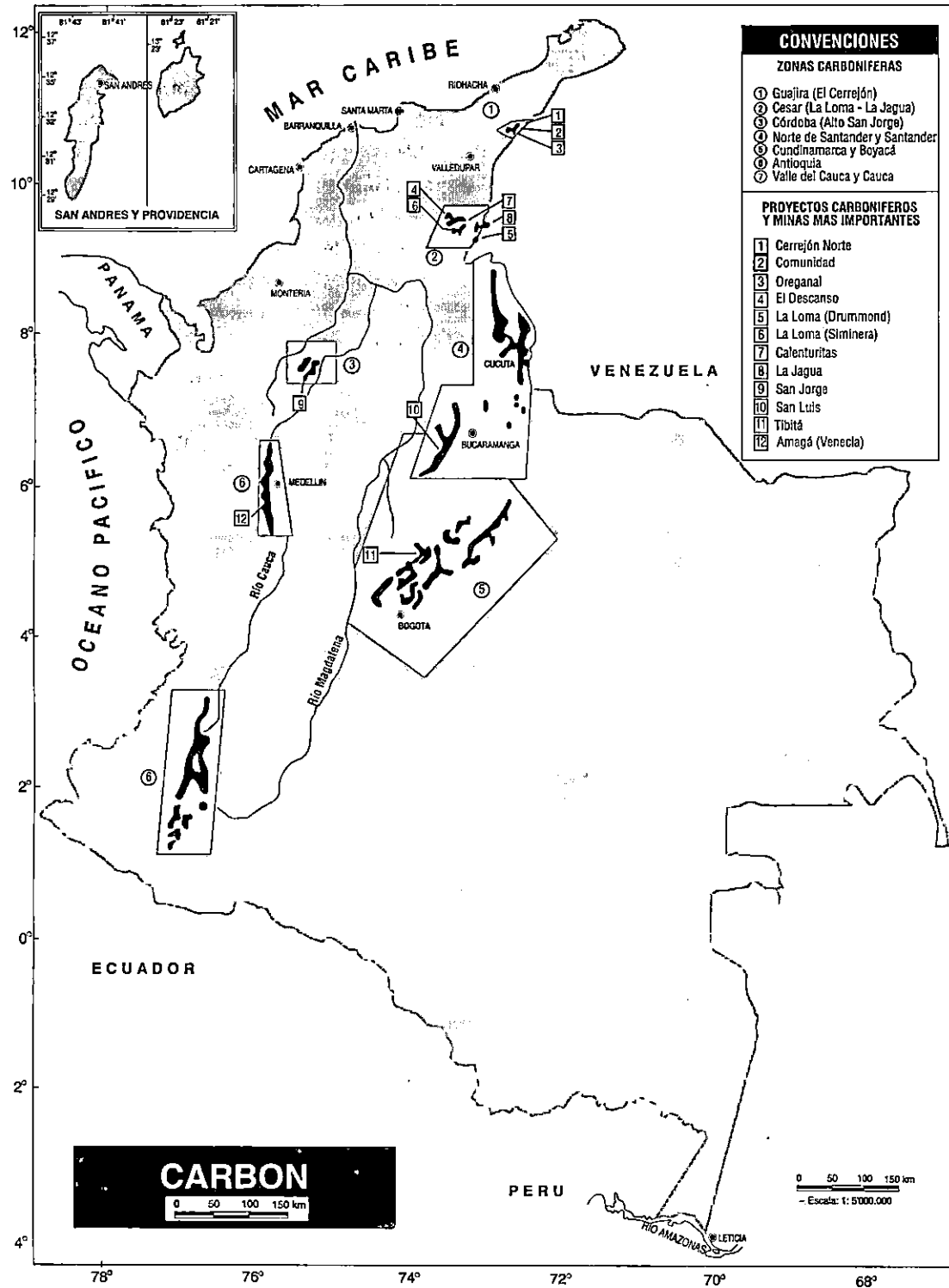
Area El Cerrejón Zona Norte. Comprende una extensión de 380 Km² situados al Norte del arroyo Cerrejón. Aquí se encuentra la mina de la Asociación CARBOCOL-INTERCOR con una explotación a cielo abierto de hasta 15 Mt/año, con reservas medidas de 3000 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles tipo B, hasta una profundidad de 300 m.

Area El Cerrejón Zona Central. Localizada entre el Río Palomino al Sur y el Arroyo Cerrejón al Norte, comprende un área de 100 Km² en donde generalmente aflora la Formación Cerrejón con 51 mantos de carbón. Se divide en 3 sectores:

SECTOR PATILLA. Existe factibilidad para una mina a cielo abierto de 1,5 Mt/año, con unas reservas medidas de 321 millones de t de carbones bituminosos altos en volátiles tipo B.

LOCALIZACION DE LAS ZONAS; PROYECTOS Y EXPLOTACIONES IMPORTANTES DE CARBON

Figura 6



SECTOR SARAHITA. Area de La Comunidad de El Cerrejón, con factibilidad para mina a cielo abierto de hasta 7 Mt/año, y unas reservas medidas de 92,8 Mt de carbón bituminoso alto en volátiles tipo B. Actualmente en explotación, mediante contrato entre La Comunidad, PRODECO y otros.

SECTOR OREGANAL - EL DESCANSO. Con reservas medidas de 169,0 y 85,0 Mt respectivamente, de carbones bituminosos altos en volátiles tipo B. CARBONES DEL CARIBE, mediante contrato con ECOCARBON, inició exploración complementaria para el montaje de una mina a cielo abierto de hasta 3 Mt/año.

Area El Cerrejón Zona Sur. Situado al Sur del Río Palomino, con un área de 220 Km². Las exploraciones preliminares confirman la continuación de la Formación Cerrejón y los carbones hasta esta área. Se desconocen las reservas y la calidad de los mantos de carbón.

Zona del Cesar

Localizada en la parte central del departamento del Cesar en jurisdicción de los Municipios de Becerril, El Paso, Codazzi, La Jagua y La Loma.

Los carbones se encuentran en la Formación Los Cuervos que contiene hasta 29 mantos de carbón.

Teniendo en cuenta la posición geográfica de los carbones, la zona se ha dividido en cinco áreas:

Area El Descanso. Localizada al oriente del Río Cesar con una extensión de 90 Km². La Formación Los Cuervos contiene hasta 29 mantos de

carbón con reservas medidas de 1.105 Mt de carbones bituminosos altos volátiles tipo C. CARBOCOL realizó el estudio de prefactibilidad minera para proyectos a cielo abierto de 5, 10 ó 12,5Mt/año.

Area Calenturitas. Ubicada 15 Km al NE de la población de La Loma, con una extensión de 90,40 Km². La Formación Los Cuervos contiene 27 mantos de carbón, con reservas medidas de 102 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles tipo C. PRODECO realizó un estudio de factibilidad para un proyecto minero a cielo abierto de hasta 3 Mt/año.

Area La Loma. Se encuentra 5 Km al NE de la población de La Loma. Existen 29 mantos de carbón con espesores mayores a 0,5 m, con reservas medidas de 50 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles en un área de 10 Km². SIMINERA proyecta extraer 1 Mt/año.

Area La Loma-El Boquerón. El área se encuentra ubicada entre las poblaciones de La Loma y La Jagua, con una extensión de 65 Km².

Existen 13 mantos de carbón con espesores mayores de 1,6 m y reservas medidas de 361 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles tipo B. Actualmente DRUMMOND se encuentra en la etapa de montaje de una mina a cielo abierto de hasta 10 Mt/año.

Area La Jagua de Ibirico. Localizada el NE del Municipio de La Jagua, con una extensión de 58 Km² conformada por los sinclinales de La Jagua y Cerro Largo, en donde la Formación

Los Cuervos contiene 14 mantos de carbón, de los cuales 11 están en explotación. Tiene reservas medidas de 197 Mt de carbón bituminoso alto en volátiles.

Zona de Córdoba

Los carbones de esta zona también denominada de San Jorge, se ubican en el Valle del Río San Jorge entre las Serranías de San Jerónimo y Ayapel en el departamento de Córdoba. Tiene una extensión de 778 Km². La Formación Ciénaga de Oro contiene 4 mantos de carbón con espesores que venían entre 0,60 y 2,5 m. La Formación Cerrito tiene alrededor de 54 mantos con espesores que varían entre 0,60 y 2,5 m. La zona se divide en dos áreas:

Area del Alto San Jorge. Localizada en la cuenca alta del Río San Jorge con una extensión de 513 Km². El Río San Jorge es la única vía permanente de penetración. El área no tiene estudios geológicos detallados.

Area de San Pedro. Localizada en la cuenca del Río San Pedro, en los alrededores de Puerto Libertador. Tiene una extensión de 265 Km² y está subdividida en 2 sectores.

SECTOR LAS PALMERAS. CARBOCOL adelantó estudio de prefactibilidad para minería a cielo abierto de 1.5 ó 4Mt/año. En 1991 realizó la viabilidad técnica para un proyecto de 1 a 1,8 Mt/año con destino a una termoeléctrica.

Existen reservas medidas de 316 millones de toneladas de carbones subbituminosos altos en volátiles.

SECTOR LA GUACAMAYA. La Escondida.- CARBONES DEL CARIBE explota la mina Guacamaya con factibilidad de hasta 920 mil t/año y reservas medidas de 20 Mt de carbones sub-bituminosos.

CARBOLCOL realizó factibilidad para la mina La Escondida con reservas medidas de 45 Mt y producción entre 0,9 y 2,8 Mt/año.

Zona Norte de Santander y Santander

Las reservas carboníferas en Norte de Santander se localizan en 6 áreas con extensión aproximada de 800 km², que hacen parte de la cuenca de Maracaibo. Estas son: Catatumbo, Zulia-Tasajero, Pamplona, Salazar, Mutiscua y Toledo. Las reservas medidas son de 110 Mt de carbones bituminosos medios a altos en volátiles B y C. La producción para 1994 fue de un millón de toneladas, provenientes de unas 100 minas de la pequeña y mediana minería, extraídas por el sistema de minería subterránea.

Los carbones de Santander se localizan en el área de San Luis 70 km al Sur de Barrancabermeja, con una ex-

tensión de 200 km² y reservas medidas de 42 Mt de carbones subbituminosos y bituminosos altos en volátiles, parte de los cuales son metalúrgicos. En el área del Páramo del Almorzadero, con una extensión de 400 km², hay carbones antracíticos a bituminosos.

Carbolcol realizó en el área de San Luis un estudio conceptual para una mina de 1 Mt/año con destino a una carboeléctrica y parte para exportación.

Zona de Cundinamarca y Boyacá

Es una de las principales zonas carboníferas, con una extensión de 3.400 km², en donde aflora la Formación Guaduas que contiene hasta 11 mantos de carbón. Se han calculado reservas medidas de 432.5 millones de toneladas de carbones bituminosos medios a altos en volátiles, algunos de ellos coquizables utilizados en la industria y para exportación.

La zona se divide en 9 áreas, a saber: Subachoque, Río Frío, Checua-Lenguazaque, Cogua, Tominé-Guatavita, Santa Rosita, Suesca-Albarracín, Tunja-Duitama y Sogamoso-Jericó.

La pequeña minería es la predominante en toda la zona, con una producción durante 1994 de 3,2 Mt/año con destino a la industria nacional y la generación de electricidad y en menor grado a la exportación. En total existen alrededor de 1.250 minas.

Carbolcol y el Instituto de Geociencias y materias primas de la República Federal Alemana, realizaron una factibilidad minera para un proyecto de 350 mil t/año con destino a Carbo-Ti-bitá en el área de Suesca-Albarracín.

Zona de Antioquia

Se conocen 5 áreas: Amagá-Sopetrán, Venecia-Titiribí, Purí-Cacerí, Tarazá-Río Man y Urabá. Las dos primeras son las más importantes y son las únicas que tienen información consistente. Existen en las dos áreas, alrededor de 90 minas en explotación.

Area Amagá-Sopetrán. Localizada al NW de Medellín entre las poblaciones de Sopetrán y Fredonia. La Formación Amagá presenta hasta 8 mantos explotables con unas reservas medidas de 28 Mt de carbones sub-bituminosos A y B y bituminosos altos en volátiles. Predomina la pequeña minería con

Tabla 3
RESERVAS DE CARBÓN EN COLOMBIA
RESERVAS (IN SITU) MILLONES DE TONELADAS MÉTRICAS - JULIO DE 1995

ZONAS CARBONIFERAS	MEDIDAS (1)	RESERVAS INDICADAS (1)	TIPOS DE CARBON
1. Guajira	3.670		Térmico
2. Cesar	1.876	537	Térmico
3. Córdoba	381	257	Térmico
4. Norte de Santander	68	101	Térmico y Coquizable
5. Santander	42	49	Térmico y Coquizable
6. Cundinamarca - Boyacá	432.5	550	Térmico y Coquizable
7. Antioquia	106	126	Térmico
8. Valle del Cauca - Cauca	18.5	44	Térmico
TOTAL	6.595	1.664	

Tabla 4
RESERVAS CARBONIFERAS DISCRIMINADAS POR ZONAS/AREAS EN COLOMBIA (1)

ZONAS AEREAS	MEDIDAS	INDICADAS	TIPOS DE CARBON
1. GUAJIRA	3000	-	Térmico
Cerrejón Norte		-	Térmico
C. Central:			
Patilla - Sarahita - El Descanso	501	-	Térmico
Oreganal	169	-	Térmico
	<u>3.670</u>		
2. CESAR			
El Descanso	1105	300	Térmico
Calenturitas	102	71	Térmico
La Loma - Siminera	50	-	Térmico
La Loma - El Boquerón	361	166	Térmico
La Jagua - Cerro Largo			
* La Jagua de Ibirico	197	-	Térmico
* Cerro Largo	61	-	Térmico
	<u>1876</u>	<u>537</u>	
3. CORDOBA (SAN JORGE)			
San Pedro - Uré			
Area Las Palmeras	316	191	Térmico
Area La Escondida	45	24	Térmico
Area La Guacamaya	20	42	Térmico
	<u>381</u>	<u>257</u>	
4. NORTE DE SANTANDER Y SANTANDER			
Catatumbo	-	-	Térmico y Coquizable
Zulia Norte	19	56	Térmico y Coquizable
Zulia Sur	27	19	Térmico y Coquizable
Tasajero	16	17	Térmico y Coquizable
Pamplona La Doña Juana	-	-	Térmico y Coquizable
Salazar	6	9	Térmico y Coquizable
Toledo	-	-	Térmico y Coquizable
San Luis	42	49	Térmico y Coquizable
Páramo Almorzadero	-	-	Térmico y Coquizable y Antracítico
	<u>110</u>	<u>150</u>	
5. CUNDINAMARCA - BOYACA			
Subachoque	45	28	Térmico y Coquizable y Semiantracítico
Río Frío	1	2	Térmico
Cogua	0.5	1	Térmico y Coquizable
Checua - Lenguazaque	352	216	Térmico
Santa Rosita	-	-	Térmico
Tomíné - Guatavita	1	1	Térmico
Suesca - Albarracín	4	10	Térmico
Tunja - Duitama	5	6	Térmico
Sogamoso - Jérico	24	31	Térmico y Coquizable y Semiantracítico
	<u>432.5</u>	<u>550</u>	
6. ANTIOQUIA			
Amagá - Sopetrán	28	35	Térmico
Venecia Titiribí	78	91	Térmico
	<u>106</u>	<u>126</u>	
7. VALLE DEL CAUCA - CAUCA			
Yumbo - Suárez	11	20	Térmico
Suárez - El Tambo	6	8	Térmico
El Tambo - Patía	-	-	
*El Hoyo - Mosquera	1.5	16	Térmico
	<u>18.5</u>	<u>44</u>	
TOTAL	6595	1664	

Fuente: ECOCARBON, 1995.

una producción actual de 950 mil t/año extraídas por minería subterránea.

Area Venecia Titiribí. Localizada al NW de la anterior en los municipios de Venecia y Titiribí. Se conocen 18 mantos de carbón con reservas medidas de 78 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles C.

CARBOCOL realizó estudio de prefactibilidad para 4 proyectos con producción de 100 a 240 mil t/año cada uno, con destino a una carboeléctrica y a la industria nacional.

Zona del Valle del Cauca - CAUCA

Localizada en los departamentos de Valle y Cauca entre las poblaciones de Yumbo y El Tambo, con una extensión aproximada de 800 km². La Formación Guachinte y la Formación Ferreira contienen hasta 18 mantos de carbón explotables con reservas medidas de 18,5 Mt de carbones bituminosos altos en volátiles tipo C. En las áreas de Yumbo-Suárez y Río Inguito-El Tambo, se estima una producción durante 1994 de 630 mil t/año provenientes de 75 minas de la pequeña y mediana minería.

RESERVAS

Colombia en América Latina ocupa el segundo lugar en cuanto a potencial carbonífero se refiere. Cuenta con reservas de carbón de excelente calidad, suficientes para abastecer el mercado interno por largo tiempo y para participar con una interesante proporción en el mercado internacional.

Las reservas carboníferas se encuentran distribuidas en las tres cordilleras (Oriental, Central y Occidental), localizadas básicamente en el interior del país y en la Costa Atlántica, lo que define las características de la minería y de los respectivos mercados.

Se han calculado reservas del orden de 6.595 millones de toneladas de carbón en la categoría de medianas y 1.664 millones de toneladas de carbón como reservas indicadas (Tablas 3 y 4).

Es necesario mencionar que estas reservas han sido calculadas básicamente en las áreas donde CARBOCOL, ECOCARBON y algunas compañías particulares adelantaron estudios de exploración geológica, y que existe un gran potencial de reservas de carbón en las diferentes cuencas carboníferas del país que todavía no han sido estudiadas y evaluadas adecuadamente. ECOCARBON adelantará programas de caracterización y evaluación de reservas en las principales zonas carboníferas del país.

TIPOS DE MINERÍA

El sistema multibanco, actualmente es utilizado en las minas de El Cerrejón Norte, El Cerrejón Zona Central y La Jagua. También está proyectado utilizarlo en las futuras minas de Drummond, Siminera, Calenturitas, El Descanso y Las Palmeras en Córdoba.

El resto de la minería, tanto mediana como en especial la pequeña se desarrolla por métodos subterráneos. En este caso el problema de recuperar el mineral se reduce a desarrollar un sistema que sobre bases de seguridad y

economía suministren al mismo tiempo un adecuado soporte del techo en las áreas de trabajo y algunas veces preserve la superficie.

Debido a que el soporte del techo es un elemento necesario en el proceso, los sistemas de minería se clasifican sobre esta base:

Las actividades principales que caracterizan este tipo de minería son:

A. Apertura y Desarrollo: Comprende los trabajos en superficie y avances subterráneos de acceso (galerías, inclinados, cruzadas, pozos verticales).

Estos avances se realizan por medio de perforaciones y voladuras con explosivos.

Dependiendo del tipo de acceso, las minas subterráneas se clasifican en minas de galería horizontal, de galería inclinada y de pie vertical.

B. Preparación: Comprende los avances subterráneos (subniveles, diagonales y tambores), para el transporte de personal, equipos y materiales, previos a la explotación propiamente dicha.

Estos avances se realizan con perforación y voladura con explosivos y su disposición depende del sistema de minería a ser utilizado.

El sostenimiento del techo para las vías que lo requieren se hace con madera ó arcos metálicos.

C. Extracción del mineral: Comprende las siguientes labores:

♦ Arranque: Martillos neumáticos, explosivos, picos, etc.

- ♦ Cargue y transporte dentro del tajo: Gravedad, transportadores blindados y cargadores continuos.
- ♦ Soporte del techo o relleno de espacios: Madera, soportes metálicos, emperado y material de relleno.

D. Almacenamiento y cargue en galerías principales: Se utilizan compuertas de madera y tolvas que descargan por gravedad o con alimentadores accionados por malacates.

E. Transporte hasta el exterior: Este se realiza por medio de bandas transportadoras, trenes, vagonetas manuales y elevadores.

Los sistemas de minería subterránea se clasifican dependiendo del soporte del techo. Este depende de las propiedades mecánicas de las rocas y de las características especiales tanto del mineral, como de la roca encajante.

Los sistemas utilizados en la minería subterránea se clasifican en tres grandes grupos:

A. Sistemas en los cuales el espacio creado por la extracción del mineral es autosoportante y regularmente no requiere métodos artificiales de soporte. Esta especificación no excluye la utilización en algunos casos de pernos de anclaje en el techo.

En este grupo se distinguen:

- ♦ Sistema de cámaras.
- ♦ Sistema de huecos o macizos largos.
- ♦ Sistema de pozos tolva.

B. Sistemas en los cuales el espacio

creado por la extracción requieren de soporte significativo y el techo es gradualmente asentado después de la explotación.

- ♦ Sistema de cámaras con relleno.
- ♦ Sistema de cámaras y pilares.
- ♦ Sistema de tajo largo con derrumbe dirigido.
- ♦ Sistema de tajo corto.
- ♦ Sistema de bancos ascendentes o descendentes.

C. Sistemas en los cuales, debido a propiedades mecánicas y espaciales de la roca, el depósito es inducido a derrumbarse bajo la acción de la gravedad y producir mejores resultados que otros métodos más selectivos.

- ♦ Sistema por hundimiento de bloques.
- ♦ Sistema de hundimiento por subniveles.

Transporte del Carbón

El carbón tiene un relativo bajo costo en boca de mina, por lo que su transporte representa un porcentaje significativo del costo total para el consumidor. Los principales medios de transporte utilizados para la movilización del carbón y su aplicación en Colombia, excluyendo los sistemas internos en minas y centros de acopio, tales como transporte neumático, por vagonetas o canales, son los siguientes:

Fluvial. Consiste en un sistema de una o varias barcas empujadas por un remolcador. Es el medio que presenta la menor relación Potencia/peso arrastrado, lo que explica su relativo bajo costo operacional. General-

mente se complementa con otro sistema de transporte, debido a que con frecuencia, bien sea el origen o el destino del carbón, no quedan cerca de la arteria fluvial.

Este medio de transporte en Colombia está subutilizado, pues, en el caso del carbón, sólo se emplea para algunos carbones de la Jagua con destino a B/quilla y Cartagena. Estos carbones son llevados, primero en camión desde la mina a un puerto fluvial sobre el río Magdalena, en Tamalameque, donde son embarcados en planchones fluviales para continuar su recorrido por el río. También parte de los carbones de Córdoba se transportan por este medio, utilizando la carretera en el primer tramo hasta el puerto de embarque fluvial sobre el río Cauca, y continuando por este río y el Magdalena hasta B/quilla o tomando el Canal del Dique hasta Cartagena.

Férreo. Adecuado para el transporte de carbón, en volúmenes y distancias significativas, gracias también a su baja relación potencia/peso arrastrado. Aun cuando requiere de altas inversiones en construcción de vía y adquisición de equipo, los costos de operación son relativamente bajos, lo que se traduce en una buena alternativa de transporte para grandes proyectos. Su utilización en medianos y pequeños proyectos exige normalmente la existencia previa de la vía férrea, a no ser que se integre el transporte de varias minas.

El principal tren privado para el transporte de carbón, es el utilizado en el proyecto Cerrejón Zona Norte, en donde se construyó un ferrocarril

de trocha estándar en un trayecto de 150 Km que separa la mina del puerto de exportación en Bahía Portete. Este sistema férreo fue construido por la Asociación Carbocol (empresa del Estado) e Intercor y está capacitado para movilizar 15 Mt/año, ampliables a 21 Mt/año con la extensión del sistema de los apartaderos.

Otro ferrocarril privado utilizado para el transporte de carbón, corresponde al de la empresa Acerías Paz del Río, que transporta mineral de hierro y carbón de la mina la Chapa a la planta en Belencito.

La red de ferrocarriles del Estado, en Colombia, se encuentra dividida en dos sistemas independientes, el sistema del Pacífico que conecta el puerto de Buenaventura con Cali y Armenia y el sistema del Atlántico que comunica el puerto de Santa Marta con el centro del país. De un total de 3.239 Km de vías existentes, se utilizan tan sólo 2.630 Km. El estado general de las vías es deficiente, razón por la cual la nueva empresa Ferrovías, ha iniciado un programa de rehabilitación de la red básica, que permitirá un aumento sustancial de su capacidad de transporte, facilitandó así la salida de los carbones provenientes del Cesar y del interior del país.

Esta red férrea es utilizada actualmente para el transporte de carbón, proveniente de las minas localizadas en Lenguazaque (Cundinamarca) y La Jagua (Cesar), que se exporta por el puerto de Prodeco en Santa Marta. Esta movilización es limitada por la poca capacidad y mal estado del sistema férreo nacional.

Terrestre. Es el medio de transporte más flexible. La existencia de una red vial mucho más densa en comparación con los sistemas anteriores, facilita la movilización desde distintos orígenes a varios destinos, sin necesidad de mayores inversiones. Tiene el inconveniente de presentar generalmente costos operacionales superiores a los del transporte por ferrocarril y fluvial, debido a una menor eficiencia en la relación potencia/peso arrastrado, razón por la cual se torna ineficiente tanto para altos volúmenes como para largas distancias. A esto se suman los problemas de congestión que produce la utilización de un número elevado de unidades transportadoras de poca capacidad. Sin embargo, es un sistema de transporte adecuado para determinadas distancias y volúmenes y se hace imprescindible como complemento de los sistemas férreo y fluvial.

Una alta proporción de los carbones de exportación producidos por la mediana y pequeña minería y casi la totalidad de los consumidos internamente, son transportados por carretera.

Cuenta el país con un total de 109.106 Km de carreteras, 25.445 Km a cargo del MOPT, de los cuales están pavimentados 9.665 Km.

El costo de la tonelada-Km transportada por carretera, está en función de la capacidad del vehículo, estado y topografía de la vía, distancia del recorrido y facilidad de carga de compensación, principalmente. El costo promedio para distancias largas en vehículos de más de 30 t. de capacidad es del orden de los US\$0,30 a 0,04,

costo que puede elevarse hasta los US\$0,20 para el transporte en volquetas de 10 t en distancias inferiores a 10 Km, sobre terrenos quebrados y vías de bajas especificaciones.

Cable aéreo. Sistema utilizado para el transporte de material a granel en distancias no muy largas y topografía quebrada. Este medio de transporte alcanza capacidades del orden de 650 t/h. Presenta el inconveniente de ser más rígido en cuanto a capacidad que los sistemas de transporte convencionales, como el ferrocarril, fluvial o camión, los que fácilmente se adaptan a incrementos del volumen a movilizar.

El principal exponente de este medio de transporte, es el cable que utiliza la empresa Acerías Paz del Río, para la movilización de los carbones de la mina la Chapa a la planta de proceso y estación de cargue al tren, el cual tiene una capacidad de 650.000 t. por año y una longitud de 3.500 m. con diferencia de altura entre la estación de cargue y la de descargue de 600 m.

Carboductos. Este sistema de transporte consiste en la utilización de ductos cerrados para el transporte, bien fuere de mezclas densas de carbón pulverizado y agua o de carbón granular al que se agrega agua como medio de arrastre. Requiere de instalaciones especiales tanto en el punto de origen como de destino. En el punto de origen es necesario disponer de instalaciones de almacenamiento, trituración, mezclado y estación de bombeo. En el punto de destino se debe contar principalmente con instalaciones de deshidratación y tratamiento de agua en el caso del carbón

granulado. La operación de transporte presenta costos aceptables, pero los costos causados en el proceso de deshidratación del carbón y tratamiento del agua, son altos, lo que indica que este sistema es una alternativa de transporte atractiva para el caso de las mezclas densas que no necesitan deshidratación. En Colombia no se utiliza este medio de transporte.

Transporte por banda. Se utiliza principalmente en los centros de acopio y plantas de proceso, en el remanejo y movilización del material en cortas distancias. Sin embargo, también es utilizado tanto en minas subterráneas como a cielo abierto, para unir el sitio de explotación con el centro de acopio o de trituración en distancias que pueden llegar a los 15 Km.

Los costos de operación de este sistema, son generalmente superiores a los causados por el ferrocarril y el fluvial, pero puede competir en forma favorable con el transporte por carretera en determinadas condiciones.

La utilización en Colombia del transporte de carbón por banda para distancias cortas, es altamente difundido, tal como podemos apreciarlo en los puertos de exportación, en los principales centros de acopio y en el transporte interno de algunas minas subterráneas.

Estructura de la Industria

Es conocido por todos el papel estratégico que jugará el recurso carbonífero en el panorama energético mundial, por lo menos durante la primera

mitad del próximo siglo, por ser considerado como un combustible de transición entre los combustibles fósiles tradicionales y las llamadas energías limpias, por la relativa abundancia de sus reservas mundiales frente al petróleo y por considerarse como una fuente segura de energía frente a la vulnerabilidad de los precios del petróleo que varían en virtud de los problemas internacionales que se generan con los grandes productores de hidrocarburos.

Aproximadamente el 80% de la producción total del carbón corresponde al mercado de exportación, el cual es atendido por un número reducido de proyectos de mediana y gran minería. El mercado doméstico, abastecido en su totalidad por la minería tradicional, está destinado principalmente a la generación de energía eléctrica y de energía primaria y secundaria en la industria. En cuanto a los usos no energéticos del carbón, el país solamente utiliza el mineral para aplicaciones metalúrgicas.

El sector eléctrico tiene una participación que puede alcanzar niveles hasta del 35% del consumo nacional de carbón térmico, dejando el saldo para distribuirlo en el sector industrial, principalmente entre las industrias cementera, ladrillera, papelera y en menor escala la industria de alimentos y textiles. En la oferta y demanda se observará con mayor detenimiento el comportamiento de esta industria a nivel nacional.

Las tecnologías empleadas en el país para el proceso de combustión del carbón, son tecnologías tradicionales

de parrilla y carbón pulverizado, sin que se le haga algún tratamiento de preparación y beneficio al recurso. Son pocas las industrias que han optado por la cogeneración y las que tienen en cuenta dentro de sus costos de operación y producción, las variables ambientales, en los niveles que les debe corresponder.

RESTRICCIONES AMBIENTALES

El análisis de los efectos ambientales asociados al sector carbonífero, identifica claramente cuatro etapas en el ciclo energético de este recurso: producción (exploración y explotación), almacenamiento y transporte, beneficio (transformación) y consumo.

Los diversos efectos ambientales no deseables están plenamente identificados, tienen alternativas tecnológicas conocidas para ejercer su monitoría, control, mitigación y compensación y, en la mayoría de los casos, su aplicación está asociada a decisiones de índole económica.

La pequeña y mediana minería en Colombia extrae el recurso mediante métodos subterráneos (excepto la minería a cielo abierto en el Cesar); esta actividad afecta de manera significativa las interrelaciones entre aguas superficiales, aguas subterráneas y hundimientos debido a procesos de subsidencia.

Los fenómenos asociados a las aguas, incluyen alteración permanente de los drenajes superficiales, severa en el caso de construcción de escombreras y moderada en la implantación de vías e infraestructuras; contamina-

ción de las aguas superficiales (turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación derivada de la oxidación e hidratación de piritas, precipitación química de hierro) por la creación de escombreras y del tráfico de volquetas y maquinaria pesada, por la descarga de afluentes y de la implantación de vías e infraestructura; impactos sobre los acuíferos por alteración temporal del régimen de caudales subterráneos motivados por la apertura de "inclinados" y galerías y bombeos del agua de los niveles freáticos seccionados y por el mantenimiento de maquinaria (aceites).

La minería subterránea presenta condiciones atmosféricas al interior de las galerías intrínsecamente insalubres por varias razones naturales (humedad, temperatura, composición, falta de renovación); agravadas por los riesgos de emanación de gas grisú (mezcla de metano y aire peligrosa en ciertas concentraciones) y polvo de carbón. Además, las actividades de extracción interna añaden gases de escape de maquinaria, ruidos, polvo y los riesgos de combustión espontánea del carbón.

Existen áreas críticas de manejo, como son el aprovechamiento de madera y la recuperación de aguas afluentes sobre las cuales debe procurarse regionalmente, en forma agregada, acciones concretas a corto plazo.

La gran minería en Colombia irrumpió hace 12 años en la Guajira, genera aproximadamente el 62% de la producción nacional y en la actualidad cuenta con estudios de varias zo-

nas carboníferas a las que se les asocia el siguiente catálogo de proyectos:

- ♦ Cerrejón Zona Norte.
- ♦ Cerrejón Zona Central.
- ♦ Cerrejón Zona Sur.
- ♦ El Hatillo.
- ♦ Oreganal.
- ♦ La Loma.
- ♦ Calenturitas.
- ♦ El Descanso.
- ♦ Amagá, Venecia, Bolombolo.
- ♦ El Hoyo Mosquera.
- ♦ San Jorge.
- ♦ San Luis.
- ♦ Tibita.

Todos estos proyectos, excepto el de Amagá, El Hoyo Mosquera, San Luis y Tibita, son minería a cielo abierto. Este tipo de minería es localizada y presenta buenos niveles de tecnificación, que permiten una explotación más regular, planificada y con mejor manejo ambiental.

El terreno objeto de la explotación minera a cielo abierto es modificado por completo tanto desde el punto de vista geomorfológico como desde el cambio de uso del mismo. Esto va acompañado de la pérdida de comunidades vegetales y alteración de población animal por ocupación irreversible del suelo en la creación de huecos y escombreras. Adicionalmente, se genera un aumento de la carga de sedimentación aguas abajo, producido por la adición de material sólido, derivado de la creación de escombreras.

La minería a cielo abierto suele generar impactos significativos por partículas sólidas y polvo de carbón, que puede ser controlado con un adecuado

humedecimiento o con el establecimiento de unos corredores de seguridad que sirvan como zonas de protección.

Vale la pena mencionar el manejo del carbón en los puertos carboníferos donde se dan las operaciones marítimas propias de recibo, maniobra, atraque y zarpe de los buques, las operaciones de manejo de carbón (descargue de trenes o volquetas, apilamiento del carbón, cargue de buques) y manejo de suministros e insumos, cuyos principales efectos ambientales hacen relación a la modificación en la calidad del aire por emisión de polvo de carbón, la modificación en la calidad del agua, tanto continental como marina y la alteración del paisaje.

Existen en la actualidad 6 puertos para exportación de carbón, ubicados su mayoría en la Costa Atlántica y con capacidades de embarque que oscilan entre 250.000 t y 15 Mt anuales de carbón. En algunos casos son puertos diseñados para manejo exclusivo de carbón; en otros casos se han adecuado muelles dentro de las terminales marítimas.

Los puertos carboníferos del país cuentan con los controles ambientales requeridos para minimizar los efectos negativos que se producen en sus áreas de influencia.

Se consume carbón en Colombia para la generación de energía primaria y secundaria, mediante el proceso de combustión. Las tecnologías son tradicionales de parrilla y carbón pulverizado, sin incluir usualmente tratamientos de preparación y beneficio

del recurso. Son pocas las industrias que tienen en cuenta dentro de sus costos de operación, las variables ambientales y sólo hasta ahora se comienza a hablar de las calderas de lecho fluidizado y del ciclo combinado, tecnologías de gran aceptación a nivel mundial por su mínimo impacto ambiental. La composición del consumo final de energía tiende, desde el punto de vista ambiental, a evolucionar hacia una estructura menos contaminante y más eficiente.

Los cálculos sobre emisión de los diferentes contaminantes se basan en los procesos de uso final de la energía, afectados por factores de acuerdo con las condiciones de operación como vapor, calor directo en el sector industrial o combustión de motores estacionarios sin ningún control. Lo anterior tiene en cuenta la investigación que sobre el tema ha desarrollado la Agencia de Protección Ambiental EPA, y la Organización Mundial de la Salud OMS, además de normas nacionales de calidad de aire y efectos de contaminantes que inciden sobre la salud.

El consumo industrial de energía produce el mayor volumen de SOx debido al mayor consumo de carbón mineral y petróleo, con contenido de azufre de 1% y 2,2% respectivamente. Sin embargo, el nivel de los otros contaminantes, como los NOx, HC, y el CO, mucho menor que el producido por el sector transporte.

El mineral energético de mayor impacto en la industria, es el carbón, no sólo por su contenido de azufre y cenizas, sino por ser el de mayor consu-

mo en calderas y hornos, dado su bajo precio por unidad de energía.

Existe un gran inconveniente en la cuantificación de la concentración o INMISION, que es donde finalmente la contaminación se va a depositar, debido a la falta de una red de monitoreo en las grandes ciudades y zonas industriales, para analizar la composición y poder determinar qué dificultades se pueden presentar en la correlación entre la contaminación del aire y la salud.

Estas dificultades se deben a:

- ♦ La cantidad y variedad de contaminantes.
- ♦ La dificultad de detectar contaminantes nocivos a concentraciones extremadamente bajas.
- ♦ La interacción sinérgica de los contaminantes.
- ♦ La dificultad de aislar factores nocivos únicos cuando la gente se expone a diferentes químicos dañinos durante mucho tiempo.
- ♦ La poca confiabilidad de los registros de enfermedad y muerte.
- ♦ Las causas múltiples y los largos tiempos de incubación de enfermedades tales como enfisema, bronquitis, cáncer y deficiencias cardíacas.
- ♦ Problemas en la extrapolación de datos de laboratorio a los humanos.

Finalmente, a nivel nacional para el sector energético en general y para el sector carbón en particular, se han identificado obstáculos y limitaciones en los siguientes aspectos:

- ♦ Papel de la autoridad ambiental.
- ♦ Reglamentación y normas.
- ♦ Organización ambiental en las empresas del sector.
- ♦ Sistemas de información y programas de investigación.
- ♦ Recursos financieros.
- ♦ Actitud de los diversos agentes involucrados en el sector carbonífero.

Características del Mercado

Al interior del proceso productivo del carbón en el país, y en especial para atender a un mercado internacional en crecimiento, se han configurado cambios y situaciones particulares tanto en el volumen de la producción como en el estamento productivo. Así, mientras que en la década del 70 la producción se estimaba en un rango de 2,5 Mt/año al inicio y 4,1 Mt/año al cierre de la década, caracterizada por la informalidad minera con condiciones técnicas que no pasaban de la utilización de herramientas, y por supuesto, intensiva en mano de obra, un gran número de unidades de producción, no menos de 1.500, configuraban el marco productivo. Salvo contadas excepciones, las minas carecían de algún grado de desarrollo técnico minero (4 minas en el país que en conjunto producían alrededor de 1 Mt/año al final de la década).

La década del 80 se inicia con esta estructura y condiciones de producción en la que de una producción estimada en alrededor de 4,1 Mt/año, al inicio, al final de la década alcanza casi los 20 Mt/año. Es decir, 5 veces más en

10 años, equivalente a un incremento promedio de 1,6M/t por año. Este espectacular salto cuantitativo tuvo soporte en el cambio cualitativo y tecnológico en los sistemas de producción, condicionados a los nuevos enfoques de mercados y de competencia a nivel internacional en los que ingresó Colombia.

El cambio que se da a la actividad extractiva del carbón arranca con el montaje y puesta en marcha de las minas de El Cerrejón Zona Central y Zona Norte (Departamento de la Guajira) en las que mediando la década ya se habían logrado niveles de producción equivalentes a la producción nacional tradicional. El despegue de una actividad minera moderna y altamente tecnificada, aunada con las condiciones de un mercado internacional con una demanda en crecimiento, sirvió de base para estimular la actividad exploratoria y de producción en áreas de reconocida importancia carbonífera y con ventajas comparativas para la exportación. En el Departamento del Cesar por ejemplo se desarrollaron, por iniciativa e inversión privadas, proyectos de mediana embergadura, a cielo abierto con empleo de máquinas-herramientas. En el resto de la minería este desarrollo también se constituyó en elemento jalonador de la actividad.

Manifestaciones de este cambio se plasman fundamentalmente en la variación de la base productiva: de 1.579 explotaciones mineras registradas en 1983, un 99% era pequeña minería con una producción nacional de 5,1 Mt/año. En 1988 se encontraron 1.200 minas, de las cuales 96% corres-

pondieron a la clasificación de pequeña minería.

La participación de la estructura minera en los volúmenes de producción es bien diferente en estos dos puntos de comparación. Mientras que en 1983 la pequeña minería aportaba alrededor del 50% del total de la producción, en 1988 la pequeña minería, alrededor de 1.100 minas, sólo aportaban aproximadamente el 18% de la producción nacional.

El complemento de la producción en cada caso es aportado por la mediana minería y la gran minería correspondiente a 16 minas en 1983 y 88 minas en 1988.

La diferenciación continúa. Actualmente y ante una demanda interna creciente, la mediana y gran minería siguen en proceso de crecimiento para suplir mercados nacionales e internacionales y cada día están más distanciadas en los niveles de producción con respecto a la pequeña minería. En efecto, de una producción de 22,6 Mt/año en 1994, la producción de la gran minería (Zona Norte y Zona Central) cubre el 62%; la mediana minería el 16% con un aporte de 3,6 Mt de las cuales 2,6 Mt se exportan, y sólo un quinta parte de esta producción proviene de la pequeña minería.

Sin embargo, el proceso de cambio al interior de la estructura de la pequeña minería ha sido notorio. Cada vez más se manifiesta la participación de una minería estable, con incipiente tecnificación y con modernización administrativa y técnica. Es decir, se está consolidando un sector con bajos

rangos de producción, pero estable y permanente.

Factores externos también han contribuido al cambio cualitativo y en los niveles cuantitativos de producción y tecnificación. Por ejemplo, la fijación a partir de 1980 de un precio oficial (a partir de 1988 para el mercado de exportación) como base para la liquidación del impuesto, introduce una base uniforme de negociación. El precio oficial, fijado semestralmente, ha permitido mantener "un precio competitivo" para el minero productor y de otra parte es un elemento racionalizador en la actividad, en la medida en que permite contrastar costo de producción con el precio final e identificar el beneficio.

Otro elemento por denotar en el proceso cualificador de la producción, es la acción de ECOCARBON (antes CARBOCOL) en el sentido de ordenar la producción y humanizar su gestión mediante programas integrales de asistencia técnica que implican, para la pequeña minería, desde la facilitación de la contratación y definición de la situación jurídica, hasta la asistencia para el diseño, operación y administración de la explotación, y concesión de créditos para el logro de una gestión eficiente.

La labor de ECOCARBON también cubre, con los mismos principios enunciados, a proyectos de mediana minería que son desarrollados con vocación de participar en el mercado internacional.

ECOCARBON de otra parte, y paralelamente con la asistencia al proceso

minero propiamente dicho, a través de programas de crédito a comercializadores, transportadores y usuarios del carbón en el país, incentiva la producción y el uso y consumo del carbón.

El desarrollo tecnológico que cubre desde la identificación y cuantificación de las reservas, modalidades y formas eficientes de uso y alternativas sobre ampliación de la demanda por vía de sustitución energética; ampliación de la capacidad de generación de energía eléctrica con carbón y el desarrollo e implantación de nuevas formas de uso, son también gestiones que cubre ECOCARBON.

OFERTA

El mercado del carbón presenta condiciones y limitaciones de producción, abastecimiento y transporte diferentes para el consumo interno y el destinado a la exportación.

La oferta para el mercado interno se caracteriza por:

- Explotaciones privadas de pequeña y mediana minería alrededor de 1.900 minas.
- El volumen de esta oferta equivale a un cuarto de la producción actual, alrededor de 6 Mt, de los cuales al consumo interno se destinan 5,0 Mt/año y a la exportación 1,0 Mt.
- La oferta para el consumo se hace en un 87% en y para la misma región productora, mercado intrarregional. El complemento, alrededor de 700 Kt se hace interregionalmente.
- El transporte del carbón para el consumo interno casi en su totalidad se realiza por carretera, ocasionalmen-

te por vía férrea. La distancia promedio en el mercado intrarregional es de 87 Km y para el interregional alcanza un promedio de 380 Km. La distancia promedio para el total de carbón que se comercializa en el país es de 125 Km.

- El valor promedio de la t/km. de carbón que se moviliza en el país para el consumo interno es de US\$0,05, con rango entre US\$0,03 y US\$0,08 para el mercado intrarregional e interregional respectivamente.

La oferta para el Mercado de Exportación se caracteriza porque:

- Salvo El Cerrejón Zona Norte, mina en la cual el Estado colombiano participa con el 50% de la producción y comercialización del carbón, el mercado de exportación se suple con explotaciones de propiedad privada. De una parte, con proyectos de mediana minería desarrollados en la costa norte y de otra, de los excedentes de la producción de carbón en la minería del interior del país.

Aproximadamente el 80% de la producción colombiana tiene como destino el mercado internacional (17 Mt/año). Los aportes a este volumen en 1994 por clase de minería son: Gran minería 80% (14 Mt/año); mediana minería 17% (3,0 Mt/año) y el restante 3% proviene de la pequeña minería (0,6 Mt/año). La comercialización de la oferta internacional también es diferencial por clase de minería. La gran minería altamente tecnificada, suple los contratos de largo plazo. La mediana minería también es comercializada bajo modalidad de contrato, pero participa en el merca-

do "spot". Esta oferta tiene origen en la zona minera de La Jagua (Cesar) y en menor proporción en la zona carbonífera de Córdoba.

La pequeña minería participa en la oferta exportable con 0,6 Mt anuales. Aunque ofrece con contrato previo, la mayor parte lo hace en el mercado "spot". Son carbones que provienen en proporción semejante, del interior del país y del Norte de Santander. Aproximadamente la mitad son metalúrgicos que se comercializan en forma de coque.

El transporte a puerto del carbón de exportación se hace en un 80% por ferrocarril, carbones de El Cerrejón y cantidades menores de minería del interior del país, y el resto fundamentalmente por carretera. Los carbones para exportación de Norte de Santander salen por vía terrestre.

El carbón de la gran minería (El Cerrejón Zona Norte) recorre 150 Km de la mina a Puerto; el de la mediana minería en promedio 400 Km, en tanto que el del interior del país hace un recorrido de 1.100 Km, en promedio.

La Guajira cuenta con un puerto de altas especificaciones de almacenamiento, manejo de carbón y embarque. Además existen 3 puertos con manejo y capacidad media de embarque en Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, con los cuales se suple el mercado de Europa y el Lejano Oriente. Recientemente, con el propósito de cubrir el mercado del Pacífico, (Suramérica y Lejano Oriente) se ha iniciado la actividad portuaria para carbón en Buenaventura.

DEMANDA

Históricamente la industria colombiana ha dependido, en buena proporción, del carbón para su gestión y logros.

A partir de la postguerra, las actividades industriales y de generación eléctrica fueron consolidándose en el país y gracias a la contribución del carbón como energético han alcanzado niveles de competencia.

La demanda por carbón, aún hasta el inicio de la década del ochenta, estuvo relacionada con el consumo interno y caracterizada por el escaso margen de crecimiento. El consumo característico, en volumen, era de alrededor de 3,0 a 3,5 Mt/año, de los cuales 80% corresponden al sector industrial y 10% al sector eléctrico.

A partir de la década de los ochenta, si bien la demanda interna sigue concentrada en estos mismos sectores, la participación se modifica notoriamente. El sector eléctrico gana participación, hasta consolidar alrededor de un tercio de la demanda interna, aunque es notorio el crecimiento en el sector industrial.

Debido al despegue de una actividad minera moderna altamente tecnificada que se gestó al inicio de los 80's para suplir la demanda internacional en crecimiento, se motivó en alguna medida el incremento en la demanda interna, en especial en el sector industrial.

La demanda interna por carbón tiene por característica que se localiza íntegramente en zonas productoras (un 2% en zonas no productoras). Sin em-

bargo, por condición de calidad, existe un flujo interregional que puede alcanzar 600 Kt/año.

De acuerdo con las características de los equipos y procesos en que se emplea el carbón, el tipo denominado "térmico" es el predominante, con proporción que oscila entre el 85% y el 90% de la demanda interna.

Este carbón es idóneo para combustión y por consiguiente, sirve para suplir procesos que requieren de calor y/o vapor.

El metalúrgico (10% al 15% del total) es el carbón empleado para producir coque, y este subproducto es necesario en los procesos de siderurgia y metalurgia.

El carbón térmico en sus aplicaciones específicas tiene la siguiente estructura: Para generar vapor, 2/3 de su demanda; el complemento, como calor en forma directa.

Hay que anotar que la generación de vapor tiene alrededor del 60% de dedicación a la electricidad (autogeneración y cogeneración) y el resto se usa como vapor en procesos industriales.

El carbón metalúrgico se consume en un 90% en proceso de siderurgia y el resto como reductor en procesos físico-químicos y en otros procesos.

Durante los últimos 6 años (hasta 1994 inclusive) el consumo anual de carbón en el país se ha estimado entre 4,8 M/t y 5,5 M/t. La estructura de este consumo y durante el último año fue el siguiente:

SECTORES	CONSUMO EN MT/AÑO
Sector Industrial	2,8
Sector Eléctrico	
Público	1,1
Auto/cogeneración	0,8
Sector Residencial	0,2
Sector Metalúrgico	0,6

Al interior del Sector Industrial se identifican 5 procesos industriales que son intensivos en energía y particularmente en consumo de carbón: Cemento, Papel, Textil, Ladrillo y Alimentos. Estas industrias utilizan un poco más del 80% del carbón térmico consumido por el Sector Industrial. Los procesos de metalurgia-siderurgia incorporan un consumo que equivale, en carbón, a unos 600 Kt/año.

El consumo por industria durante 1994, es el siguiente:

	M/t
Cemento	1,2
Ladrillo	0,6
Papel	0,4
Textil	0,1
Alimentos y Bebidas	0,2
Siderurgia	0,6
Otros procesos	0,2
Residencial	0,2

El consumo en estas industrias es estable. Las desviaciones con respecto a estos promedios son atribuibles al comportamiento macroeconómico del país y a la condición de los equipos. Recientemente se ha percibido interés por aumentar eficiencia en las plantas y esto, de una parte, puede

disminuir el consumo de carbón por unidad producida, pero a su vez, puede estimular mayor producción de unidades.

PRECIOS

El mercado interno del carbón se puede clasificar en dos categorías: El mercado inter-regional y el intra-regional. Con el mercado inter-regional, se cubre el déficit existente en las regiones, generado tanto por un menor volumen de producción al requerido para el consumo, como por la no existencia de las calidades específicas requeridas.

La distancia cubierta para el transporte de los carbones en este mercado es de 380 Km en promedio, para una movilización anual del orden de 700.000 t.

Los costos de este transporte, que cubre las distancias entre centros de acopio y las plantas de consumo y que se hace casi en su totalidad en tractomulas de 30 t de capacidad, varía entre US\$0,03 y US\$0,045 la t/Km, con costo medio de US\$23 t/Km. Los menores costos ocurren para recorridos largos, con vías de buenas especificaciones y principalmente con carga de compensación.

El transporte de los carbones al mercado intra-regional, generalmente desde las bocaminas a centros de consumo, tiene costos de la t-km, en un rango entre US\$0,04 y US\$0,14, con un promedio de US\$0,08. El incremento sensible del costo de la t/Km en relación con el transporte inter-regional, se debe a que aquí se utilizan

camiones de menor capacidad (raramente exceden las 10 t), en distancias más cortas y generalmente, con parte del recorrido en carreteras sin pavimento y de mínimas especificaciones.

PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO DEL RECURSO EN EL PAÍS

Nivel Minero

El Estado colombiano mantiene el interés de aumentar la participación del carbón térmico colombiano en el mercado internacional, para lo cual estimula la participación de la empresa y capital privado. En esta gestión, promueve el desarrollo y venta de proyectos a nivel nacional e internacional.

Se mantendrá la directriz de que la exploración que tenga que hacerse debe ser cubierta con inversión privada y no por parte del Estado. No obstante, el Estado mantiene como identificar nuevas áreas con recurso carbonífero.

Respecto de la actividad minera destinada a satisfacer las necesidades del mercado interno del carbón, se busca el fortalecimiento del establecimiento productivo (técnico, económico, comercial y empresarial) en donde el Estado debe proporcionar y orientar la prestación de servicios de asistencia técnica al empresario minero y el apoyo financiero requerido dentro del marco jurídico establecido.

Con el propósito de racionalizar el proceso comercial, procurando la adopción de una adecuada integración de la función de la intermediación del proceso "producción-consumo", el Estado ha propiciado la creación y desarrollo de empresas comercializadoras así como el fortalecimiento de las cooperativas del sector.

En cuanto al transporte, algunas gestiones tendientes a propiciar un adecuado sistema de transporte (hoy principalmente por carretera) han presentado como alternativas la recuperación y adecuación de la red férrea como medio más conveniente para la movilización del recurso.

Aspectos Legales

La Constitución Nacional establece que el Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, y le corresponde planificar el manejo y aprovechamiento de los mismos.

El Decreto 2655 de 1988, llamado Código de Minas, recoge la legislación para el carbón, de cuyo articulado se destaca lo siguiente:

- Respetar los derechos adquiridos que conserven su validez jurídica.
- Reafirma el régimen especial de aporte para el carbón.
- Desarrolla integralmente la facultad de las entidades titulares de aporte para desarrollar las actividades de minería mediante contratos con terceros.
- Busca conciliar la actividad minera con la protección del medio ambiente.
- Define las clases de contraprestaciones económicas en favor del Estado y su destinación.

■ Establece el Registro Minero Nacional, teniendo como efecto la publicidad de los actos sujetos a él, constituyendo la única prueba válida de los mismos.

La exploración y explotación de carbón de propiedad nacional, sólo puede realizarse mediante el sistema de aporte otorgado a empresas industriales y comerciales del Estado vinculadas al Ministerio de Minas y Energía, quienes podrían ejecutar dichas actividades directamente o por intermedio de contratos con otras entidades públicas o con particulares.

Así, siendo ECOCARBON la Empresa Industrial y Comercial del Estado, la encargada de la ejecución de las políticas de desarrollo de la industria del carbón, se le han otorgado en aporte las diferentes áreas carboníferas del país y en concordancia con el esquema legal vigente, definió un programa cuyo objetivo es contratar la exploración y explotación de carbón en

áreas de proyección con personas de suficiente idoneidad técnica y operativa, con el fin de regularizar el aprovechamiento del recurso y desarrollar la industria del carbón por contratación directa o mediante concurso de méritos.

Dependiendo del tamaño de la minería según se trate de proyectos de gran minería o de pequeña y mediana minería, las condiciones y las entidades que intervienen en la determinación de criterios y la negociación varían.

Para el caso de los contratos de gran minería, el Código de Minas establece expresamente algunas condiciones que deben cumplir, los contratos de gran minería, entre ellas:

1. Contraprestaciones económicas.
2. Deben incluirse cláusulas de orden operativo sobre los siguientes aspectos:
 - A. Localización y delimitación del

área contratada en forma clara e inequívoca (existe libertad de determinar la extensión y forma del polígono).

- B. Determinación clara y precisa de los plazos para la realización de cada una de las labores y demás obligaciones del contratista.
 - C. Establecimiento de la posibilidad de que terceros puedan usar la infraestructura cuando exista capacidad sobrante en términos económicamente aceptables para las partes.
 - D. Reversión de bienes o condiciones técnicas y económicas para poder retirarlos.
 - E. Establecimiento de reglas de control y vigilancia para la utilización adecuada del recurso, métodos de explotación y contraprestaciones económicas y demás obligaciones.
3. Condiciones sociales y laborales:
- A. Vinculación y mantenimiento de personal colombiano preferente-

Tabla 5
PROYECCIONES DE PRECIOS FOB
PUERTO BOLIVAR PARA EL CARBÓN COLOMBIANO
SERIES PROPUESTAS POR LA VICEPRESIDENCIA COMERCIAL PARA COLOMBIA

AÑO	PROBABLE			PESIMISTA			OPTIMISTA			INFLACION PROYECTO USA	FACTOR INF USA BASE. 1992
	PRECIOS CORRIENTES US\$/t	INCREMENTO PRECIO %	PRECIOS CONSTANTES 1992 US\$/t INFLA. USA	PRECIOS CORRIENTES US\$/t	INCREMENTO PRECIO %	PRECIOS CONSTANTES 1992 US\$/t INFLA. USA	PRECIOS CORRIENTES US\$/t	INCREMENTO %	PRECIOS CONSTANTES US\$/t INFLA. USA		
1990	40,50		45,21	40,50		45,21	40,50	45,21	40,80	5,00	1,12
1991	38,47	-5,01	40,80	38,47	-5,01	40,80	38,47	-5,01	40,80	5,70	1,06
1992	38,25	-0,58	38,25	38,23	-0,63	38,23	38,66	0,50	38,66	5,20	1,00
1993	39,85	4,20	38,06	39,64	3,70	37,86	41,06	6,20	38,22	4,70	0,96
1994	41,85	5,00	38,06	41,43	4,50	37,68	43,73	6,50	39,78	5,00	0,91
1995	44,23	5,70	38,32	43,37	4,70	37,57	46,79	7,00	40,53	5,00	0,87
1996	46,75	5,70	38,57	45,41	4,70	37,47	50,06	7,00	41,31	5,00	0,83
1997	49,42	5,70	38,83	47,55	4,70	37,36	53,57	7,00	42,09	5,00	0,79
1998	52,23	5,70	39,09	49,78	4,70	37,25	57,32	7,00	42,89	5,00	0,75
1999	55,21	5,70	39,35	52,12	4,70	37,15	61,33	7,00	43,71	5,00	0,71
2000	58,36	5,70	39,61	54,57	4,70	37,04	65,62	7,00	44,54	5,00	0,68

Fuente: CARBOCOL, Investigación de Mercados, 1992.

- mente del área de influencia.
- B. Utilización preferencial de bienes y servicios nacionales.
 - C. Capacitación y formación de personal colombiano para todos los niveles.
 - D. Provisión para prestaciones sociales laborales.
 - E. Transferencia tecnológica.

Nivel Industrial

COSTOS E INVERSIONES

El costo económico del carbón exportable, como por ejemplo los carbones que producen los departamentos de La Guajira (Cerrejón Zona Norte y Zona Central) y El Cesar (La Loma, La Jagua y Calenturitas), corresponde al costo de oportunidad en el mercado

internacional, basado en el precio FOB. Con este criterio se considera que los carbones colombianos exportables se valorizarán en el futuro de conformidad con los pronósticos de evolución de dichos precios. La tabla 5 presenta la evolución mencionada para el carbón de El Cerrejón Zona Norte, que puede utilizarse como referencia para los carbones exportables.

Tabla 6
SUMINISTRO DE CARBÓN A PROYECTOS CARBOELÉCTRICOS

(Precios Medios de Largo Plazo del Carbón en Boca de Mina en US\$/t (11/94))

NOMBRE DEL PROYECTO MINERO	LA LOMA DRUMMOND	CALENTURITAS PRODECO	VENECIA	LAS PALMERAS I SAN JORGE	LAS PALMERAS II SAN JORGE	MINERIA TRADIC TECNIFIC.	MINERIA TRADIC TECNIFIC.	MINERIA TRADIC TECNIFIC.
PRODUCCION (KT/A)	10000	2500		1147	1706			
AÑO DE REFERENCIA	CESAR 1999	CESAR 1999	ANTIOQUIA 1999	CORDOBA 1999	CORDOBA 1999	1998	1999	2002
INVERSIONES								
Equipo Importado	1.31	2.76	2.12	3.80	3.65	0.12	0.12	0.13
Impuestos Importación Nacionales	0.00	0.39	0.30	0.52	0.50	0.02	0.02	0.02
TOTAL	1.97	3.40	5.38	5.94	5.59	0.34	0.35	0.36
COSTOS OPERACIONALES								
Insumos 3.79	2.03	0.11	2.34	2.43	0.06	0.05	0.05	
Impuestos Importación Nacionales	0.00	0.29	0.02	0.32	0.33	0.01	0.01	0.01
Mano de Obra	1.41	3.22	7.74	2.18	1.99	7.23	7.28	7.32
Electricidad	0.23	0.16	0.52	0.04	0.04	0.19	0.19	0.20
Combustibles	1.61	1.62	0.17	2.59	2.69	0.06	0.06	0.06
Explosivos Nacionales	1.94	0.00	1.24	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10
Madera	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.66	0.66	0.66
Otros Insumos Nacionales	0.21	0.10	1.82	1.00	1.03	0.43	0.43	0.44
Otros Costos Nacionales	0.76	2.17	0.85	0.36	0.34	0.75	0.75	0.75
Regalía Legal	0.55	0.28	0.30	0.30	0.30	0.24	0.24	0.24
Costos Financieros	0.13	0.34	0.25	0.58	0.43	0.10	0.10	0.10
Impuestos de Renta	N.A.	0.60	1.48	0.56	0.70	0.10	0.10	0.10
Excelente del Productor	N.A.	0.17	2.58	0.27	0.28	0.28	0.28	0.27
TOTAL	N.A.	10.99	17.86	10.54	10.56	10.89	10.94	10.98
PRECIO TOTAL BOCA DE MINA	N.A.	14.38	23.24	16.48	16.15	11.23	11.28	11.34
COSTOS INVER. EXTRANJ								
IMPUESTO DE RENTA	0.90	N.A.	2.20	0.78	0.87	N.A.	N.A.	N.A.
IMPUESTO DE REMESAS	0.19	N.A.	0.61	0.22	0.20	N.A.	N.A.	N.A.
EXCEDENTE DEL PRODUCTOR	1.78	N.A.	3.68	0.66	0.62	N.A.	N.A.	N.A.
TOTAL COSTOS OPERACION	13.50	N.A.	6.49	1.66	1.69	N.A.	N.A.	N.A.
PRECIO TOTAL BOCA DE MINA	15.47	N.A.	24.64	17.31	16.86	N.A.	N.A.	N.A.

CARBOCOL en 1991, elaboró un estudio de los costos e inversiones requeridas por la minería del carbón, obteniéndose Precios Medios de Largo Plazo (PMLP) del carbón en boca de mina, expresados en dólares de 1994, en los años de referencia acordados con ISA (a partir de 1998) y que corresponden a las fechas de entrada en operación de carboeléctricas.

El estudio tenía como propósito fundamental dar a conocer a ISA el costo de suministro de carbón para las carboeléctricas contempladas como posibles proyectos de expansión del sistema de generación actual ("Metodología, bases de cálculo, y supuestos sobre costos medios de largo plazo de carbón puesto en planta para térmicas contempladas en el Plan de Expansión del sector eléctrico") y sirve de referencia para la determinación de los costos de producción del carbón.

El estudio indicado, destaca que para el caso de la pequeña minería, se tuvo como criterio básico el estimar los costos e inversiones requeridas para un desarrollo minero con un nivel técnico aceptable, habida consideración de que en el mediano plazo, como objetivo de desarrollo, se pretende que al menos el 80% del carbón destinado al consumo interno sea abastecido por minas con un adecuado nivel empresarial y técnico. Para la estimación de los costos de suministro de carbón de los proyectos de gran y mediana minería se tuvieron en cuenta, entre otros, los siguientes estudios:

- ♦ DRUMMOND - Estudio de Factibilidad 1991. (Minería a cielo abierto)
- ♦ SAN JORGE - Estudio de prefac-

tibilidad 1991. Elaborado por la Vicepresidencia Técnica de CARBOCOL. (Minería a cielo abierto)

- ♦ Estimativos de los costos de transporte desde la mina hasta la planta, realizados por la Dirección de Proyectos en Desarrollo de CARBOCOL.
- ♦ VENEZIA - Proyecto de prefactibilidad y cálculo de la Vicepresidencia Técnica de CARBOCOL 1991. (Minería Subterránea).

Con base en el estudio preparado para ISA, a continuación se presenta la estructura de costos del carbón en boca de mina (Tabla 6).

La estructura de costos anteriormente presentada, caracteriza la situación de minas de la pequeña minería con producción promedio del orden de 12.000 toneladas/año y con un nivel técnicamente aceptable. Para la gran y mediana minería se tomaron datos de los estudios de pre y factibilidad. La anterior estructura refleja los costos de producción de carbón después de impuestos y excedente del productor.

El mayor valor de los Costos Medios de Largo Plazo en relación con los precios actuales, para el caso de suministros de la minería existente, oscila entre un 20% y un 50% y responde, a dos consideraciones principales:

- A. El suministro a los consumidores, en particular a proyectos carboeléctricos, debe realizarse a través de la minería tecnificada. Con estas actividades se prevé que, a partir del suministro de servicios profesionales técnicos especializados, se logre garantizar el abastecimiento

carboeléctrico requerido, en cantidad, oportunidad y calidad.

Al costo de producción de la minería no tecnificada de hoy, hay que adicionarle los costos representados por el deterioro de los yacimientos, que es distinto al del agotamiento del recurso; el causado por la baja productividad; el incuantificado costo social representado por la alta movilidad y accidentalidad y los costos financieros ocasionados por la incertidumbre de abastecimiento estable a los consumidores, entre otros.

Los anteriores elementos, explican las diferencias entre el costo medio y los precios actuales, al tiempo que justifican la necesidad de desarrollar un proceso de tecnificación minera que garantice el suministro a las carboeléctricas.

- B. La estimación de los Costos Medios de Largo Plazo, es el producto de los análisis reconocidos como indispensables para la elaboración de un Plan de Expansión. En esta estimación se considera la vida útil de cada proyecto minero, la desagregación de costos e inversiones por elementos y monedas de origen, junto con sus incrementos reales asociados, impuestos de producción, importación y renta, así como el excedente del productor y consideraciones técnicas y de calidad de los proyectos carboeléctricos y del carbón.

El Costo Medio de Largo Plazo es la suma de todos los componentes de costos mencionados durante la vida

del proyecto, visto como un resultado agregado en un momento del tiempo. Como incluye factores de rentabilidad estimados con base en perspectivas "normales" del mercado, puede asumirse como un precio medio "racional" y esperado para la industria.

Los precios actuales reflejan una situación de mercado que no responde a una lógica económica, no tienen en cuenta consideraciones técnicas y pueden variar desde los costos de operación del productor hasta donde el mercado lo permita. En la medida en que el mercado se perfeccione y la industria se tecnifique, el precio actual tenderá a ser el Costo Medio de Largo Plazo, definido anteriormente.

Proyecciones

Hacia el futuro, la evolución seguirá en la misma tónica; una minería altamente tecnificada con incorporación de nuevos proyectos y mayor participación en los niveles de producción. La mediana y pequeña minería aumentarán sus volúmenes de producción pero pierden importancia relativa en la producción total nacional.

Por consideraciones del mercado internacional, fundamentalmente, la capacidad de producción según evaluación de los proyectos de mediana y gran minería previstos, hacia mediados (1995) y fin de la presente década, será de 26,5 Mt/año y 40,2 Mt/año. Estos toques alcanzan, con respecto a la producción actual de 22,6 Mt/a, tasas de crecimiento de 8,5% y 7,2% promedio anual interperíodos.

El crecimiento es explicado en gran medida por el auge en la gran minería que de 14,2 Mt/año actuales espera pasar a 19 Mt/año y 31 Mt/año en los años 1995 y 2000, respectivamente, lo cual conlleva tasas promedio anual del orden de 11,5% entre 1992-1995 y 10,2% entre 1995-2000.

La mediana minería deberá pasar de 3,6 Mt/año actuales a 4,3 Mt/año en 1995 y 5,5 Mt/año en el año 2000, con tasas de crecimiento 9,2% y 8,8% respectivamente, promedio anual interperíodos.

El crecimiento de la pequeña minería ante un consumo y demanda interna relativamente estables, tienen menor importancia y pasará de 4,7 Mt/año en 1994 a 6,0 Mt/año en el año 2000 (Tabla.7).

RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo expuesto anteriormente y a las proyecciones de la industria de carbón en Colombia la gestión gubernamental requerida para promover la productividad, la competitividad y el progreso armónico del sector, debe desarrollarse dentro de las actividades que se enuncian a continuación:

PLANIFICACION DEL SECTOR

CARBONIFERO

Planear el desarrollo del sector carbonífero colombiano, en concordancia con los países Minero-Energéticos Gubernamentales.

IDENTIFICACION Y

EVALUACION DEL RECURSO

Promover estudios técnicos para caracterizar los yacimientos carboníferos y definir el potencial del país para atender nuestra demanda doméstica y proyectar nuestra participación en el mercado internacional.

PROMOCION

EMPRESARIAL MINERA

Colaborar con el fortalecimiento de los pequeños y medianos mineros para que se conviertan en empresarios competitivos del carbón, en términos de tecnología, garantía de suministro, seguridad, manejo ambiental, administración y manejo financiero.

CONTRATACION Y CONTROL DE

PROYECTOS MINEROS

Legalizar y contratar con el sector privado el óptimo aprovechamiento del recurso a través de proyectos de exploración y explotación de grande, mediana y pequeña minería, asegurando el cumplimiento de las obligaciones contractuales, con el fin de

Tabla 7
OFERTA DE CARBON
1992 - 1995 - 2000

	ESCENARIO PROBABLE		
	PRODUCCION(1)	EXPORTACION(1)	CONSUMO(1)
1992	21,9	16,0	5,5
1995	26,5	21,5	6,1
2000	40,2	34,5	7,7
	ESCENARIO OPTIMISTA		
	PRODUCCION(1)	EXPORTACION(1)	CONSUMO(1)
1992	21,9	16,0	5,5
1995	29,3	22,9	6,3
2000	50,4	41,4	8,8

(1) Millones de toneladas.
Fuente: ECOCARBON, 1995.

cumplir las metas de exportación y los requerimientos del mercado doméstico.

**SEGURIDAD Y SALVAMENTO MINERO
(MINERIA SUBTERRANEA)**

Prevenir la ocurrencia de siniestros y atender las emergencias y accidentes que ocurran en las zonas de pequeña y mediana minería, mediante la operación de estaciones y puntos de salvamento, la formación de socorredores y la asesoría en planes de salvamento y prevención de riesgos.

**PROMOCION AL USO Y CONSUMO DE
CARBON**

Incentivar el consumo y promover el uso eficiente del carbón, tanto en el sector industrial como en el sector eléctrico, mediante la definición de proyectos de sustentación y de ampliación de la capacidad instalada y la adopción de parámetros de calidad en el mercado doméstico.

**PROMOCION Y COORDINACION
COMERCIAL**

Impulsar mecanismos de promoción del carbón colombiano que permitan:

A. En el Mercado Doméstico.

La concertación de los agentes de la industria, la promoción de proyectos mineros, la consolidación gremial, el fortalecimiento de la capacidad negociadora, la integración de lineamientos del carbón con las políticas energéticas y nacionales y el apoyo a problemas específicos de la cadena de la industria.

B. En el Mercado Internacional.

La promoción del carbón colombiano y de proyectos mineros y de atención de medidas internacionales que afecten la competitividad del carbón colombiano.

**INVESTIGACION Y DESARROLLO
TECNOLOGICO**

Conocer y promover modernas tecnologías ambientales compatibles que mantengan el desarrollo de la industria carbonífera.

GESTION AMBIENTAL

Impulsar la cooperación interinstitucional del sector público y privado pa-

ra la comprensión de los fenómenos ecológicos y los procesos ambientales, la mitigación de los efectos que causa la industria carbonífera y la recuperación de áreas afectadas.

GESTION EN INFRAESTRUCTURA

Concertar y promover con entidades públicas y privadas la construcción y adecuado funcionamiento de infraestructura (tal como transporte, puertos, telecomunicaciones), que permita incrementar la competitividad del carbón colombiano en el mercado internacional y nacional.

**APOYO AL DESARROLLO SOCIAL Y
RELACIONES CON LA COMUNIDAD EN
REGIONES CARBONIFERAS.**

Promover la concertación entre las agencias estatales competentes, el sector privado y las comunidades vinculadas al carbón, para fortalecer las acciones de política gubernamental y propiciar desarrollos autosostenidos en las regiones carboníferas.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1. Demanda Internacional de Carbón Térmico.
TABLA 2. Oferta Internacional de Carbón Térmico.
TABLA 3. Reservas de Carbón en Colombia.
TABLA 4. Reservas Carboníferas Discriminadas por Zonas/Áreas en Colombia.
TABLA 5. Proyecciones de Precios FOB- Puerto Bolívar para el Carbón Colombiano.
TABLA 6. Suministro de Carbón a Proyectos Carboeléctricos.
TABLA 7. Oferta de Carbón 1992 - 1995 - 2000.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Reservas Mundiales Recuperables de Carbón.
FIGURA 2. Reservas Recuperables de Carbón.
FIGURA 3. Producción de Carbón.
FIGURA 4. Consumo Mundial de Carbón y Otros Combustibles Fósiles por Regiones.
FIGURA 5. Mercado Internacional de Carbón Térmico. (1991 - 2000).
FIGURA 6. Localización de las Zonas, Proyectos y Explotaciones Importantes de Carbón.

BIBLIOGRAFIA

- AGIP CARBONE, CARBOCOL. C.D.F. INTERNATIONAL, 1983. Depósito de Carbón en el Área de La Loma-El Descanso, Valle del Cesar, Colombia.
- CARBOCOL., 1991. Reconocimiento Geológico Área Leticia-Puerto Nariño, Departamento del Amazonas. Informe de CARBOCOL, Santafé de Bogotá, D.C.
- CARBOCOL., 1992. Reconocimiento Geológico Área el Tambo-Patía (Departamento del Cauca). Informe de CARBOCOL, Santafé de Bogotá, D.C.
- CARBOCOL., 1992. Reconocimiento Geológico Área Borde Oriental de la Cordillera Oriental. Informe de CARBOCOL, Santafé de Bogotá, D.C.
- BP STATISCAL REVIEW OF WORLD ENERGY.
- COAL WEEK INTERNATIONAL-MARKETWATCH, MAYO 19/92.
- CARBONES DEL CARIBE LTDA., 1992. Estudio de Factibilidad Técnico-Económica para Explotación del Carbón Mina Piloto, La Escondida, Puerto Libertador, Córdoba.
- CASTRO, M. y GOMEZ, C., 1988. Reconstrucción del Ambiente de Depositación del Miembro Superior de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, Departamento de Santander, Bucaramanga. Tesis, Universidad Industrial de Santander.
- CARDOZO, L.F. y GOMEZ, C., 1980. Geología del Depósito de Carbón El Cerrejón, en el Sector de Sarahita-Guajira. Bogotá. Tesis, Universidad Nacional.
- COBRAPI-CARBOCOL-INGEOMINAS, 1980. Estudio de Previabilidad Técnico-Económica y Financiera para la Explotación, Beneficio, Transporte y Comercialización de Carbón Coquizable de los Bloques 1 y 3 de la Cuenca Checua Lenguaque.
- CARBOCOL, 1991, a. Comercialización del Carbón.
- CARBOCOL, et all, 1991. Prefactibilidad Minera de El Descanso Departamento del Cesar, Santafé de Bogotá, D.C.
- CARBOCOL, 1991, b. Minería de 1 Millón de toneladas para una Carboeléctrica de 300 MW en el Área Las Palmas-Proyecto San Jorge, Córdoba.
- CARBOCOL, et all, 1987. Estudio de Prefactibilidad Minera del Alto San Jorge, Córdoba.
- CARBOCOL, 1991. c. Evaluación de Reservas Mineras El Cerrejón Central, Sector Oreganal-El Descanso, Santafé de Bogotá, D.C.
- CARBOCOL-MONTREAL INC., 1984. Patilla Mine Study, Bogotá.
- CARBOCOL, Estadísticas Básicas del Sector Carbón, 1970 - 1981, 1980- 1985, 1980 - 1988 y 1980 - 1990, Bogotá.

CARBOCOL, 1988. Censo Nacional Minero- Sector Carbón, Bogotá.

CARBOCOL-B.G.R., 1985. Estudio de Prefactibilidad Técnico-Económica del Yacimiento de Tibita, Cundinamarca.

CARBOCOL-SEDIC-SERVIMINAS, 1990. Estudio de Prefactibilidad Minera del Area de Amagá-Venecia-Bolombolo, Antioquia.

CHARBONNAGES DE FRANCE INTERNATIONAL, AGIP CARBONE, CARBOCOL, 1983. Evaluation Preliminaire du Projet Cesar V.2 Rapport Geologique, Colombia.

DURAN, RAUL et all, 1981. Evaluación de Reservas de Carbón en Siete Zonas de Colombia, Informe 1838. INGEOMINAS, Bogotá.

DRUMMOND LTD., 1991. Feasibility Study, La Loma Coal Project Colombia, South America.

DANE, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION, 1988. Censo Nacional Minero, Bogotá.

ECOCARBON, 1995. Plan de Desarrollo del Subsector Carbón 1996-2000 - Versión Preliminar. Santafé de Bogotá.

ECOCARBON, 1995. Informe Anual 1994. Santafé de Bogotá.

EMPRESA NACIONAL ADARO-CARBOCOL-INGEOMINAS, 1978. Estudio de Prefactibilidad para la Explotación de Carbones Coquizables en los Bloques 1 y 2 del Borde Occidental del Sinclinal de Checua-Lenguazaque, Bogotá.

ENERGIA EN CIFRAS-OLADE Versión No. 3.

HIDROESTUDIOS S.A., 1990. Estudio del Yacimiento de El Cerrejón Central, Bogotá.

IEA Annual Oil Market Report, 1990.

IEA Coal Information, 1991.

IEA Energy Policies of IEA Countries, 1990 Review.

INGEOMINAS, 1981. Evaluación de Reservas de Carbón en Siete Zonas de Colombia, Bogotá.

JOHN T. BOYD COMPANY, 1980. Technical Feasibility Study of Underground Mining El Cerrejón Coal Concession.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION - CARBOCOL, 1983. Censo Nacional del Carbón Bogotá.

OLADE 1991. Situación Energética en América Latina y el Caribe. Transición hacia el Siglo XXI, Cartagena.

OLADE, 1991. Sistema de Información Económica- Energética (SIEE).

PERRY, G. ESGUERRA, P. 1991. Perspectivas de la Economía Mundial, OLADE, 1991. Cartagena.

PRODECO, 1992. Proyecto Carbonífero Río Calenturitas, Informe Geológico Santafé de Bogotá, D.C.

PLAN ENERGETICO NACIONAL, 1992. Entorno Energético Mundial, Santafé de Bogotá, D.C.

PLAN ENERGETICO NACIONAL, 1992. Area de La Oferta, Santafé de Bogotá, D.C.

PLAN ENERGETICO NACIONAL, 1992. Ambiente y Desarrollo Tecnológico, Santafé de Bogotá, D.C.

SULLIVAN, K.M., 1988. The Effect of CO₂ Emissions From Coal Fired Plants, London.

SHELL, 1991. Perfil Energético Shell Briefing Service.

SIMINERA LTDA. 1991. Proyecto Carbonífero La Loma, Medellín.

INGEOMINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
GEOCIENCIAS, MINERIA Y QUIMICA

DIRECCION

Diagonal 53 No. 34-53
Teléfono: (57-1) 222 1811
Fax: (57-1) 222 0797

DISEÑO & DIAGRAMACION

Enlace
Periodismo Institucional

IMPRESION

Unión Gráfica

Diciembre de 1995.

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA
