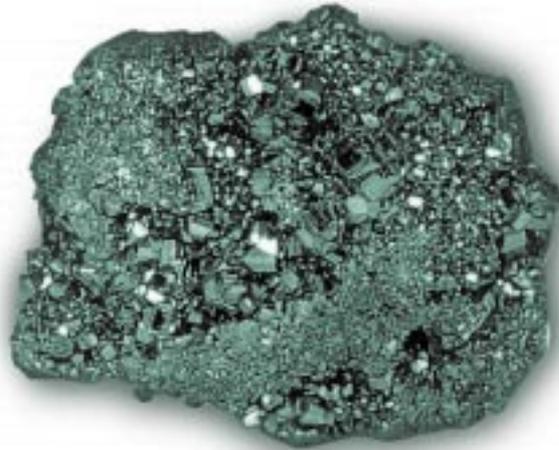


7. RECURSOS MINEROS E HIDROCARBUROS



7. RECURSOS MINEROS E HIDROCARBUROS

EL OBJETIVO CENTRAL de esta sección es presentar y analizar los datos disponibles sobre patrimonio de los recursos no renovables de Chile. Asimismo se realiza una revisión de las cifras de producción de dichos recursos, de los factores socioeconómicos condicionantes, específicamente las exportaciones y el marco institucional vigente, y de la inversión. El período discutido corresponde a los años 1970 a 1998, aunque en algunos casos el período es más reducido debido a la falta de información. Finalmente se analizan algunos indicadores ambientales de la minería en el período 1989-1998: 1) en lo que respecta a calidad del aire se analiza el cumplimiento de los planes de Descontaminación de tres fundiciones de cobre; 2) en lo que respecta al recurso agua se analiza las mediciones de cobre y arsénico de la Dirección General de Agua, (DGA), en el río Loa y se relacionan dichas mediciones con la minería existente en la Región. Además se analiza el uso de agua por parte de la minería y de otros sectores de la economía en las regiones I a IV; 3) en lo que respecta a la generación de residuos de la minería, se cuantifica la generación de residuos masivos; 4) en lo que respecta al abandono de faenas mineras, se presenta por región el número de tranques de relave abandonados y su estado, evaluado en el año 1989.

7.1 SITUACIÓN DE LOS RECURSOS MINEROS E IMPACTO DE LA MINERÍA

7.1.1 Recursos y reservas mineras ¹

Esta sección analiza las fuentes disponibles de datos sobre inventarios de recursos no renovables en Chile. Dichas fuentes son:

- recursos de cobre, oro y carbón obtenidos de un estudio del Banco Central y Sernageomin (Banco Central, 1997).
- información de reservas y recursos de cobre de Codelco en la década de los 90, la que es complementada con información de inversión en exploración, costos de operación y leyes medias de cobre.
- información de reservas de litio, obtenida de Lagos (1986), Roskill (1999), y de la empresa Sociedad Química y Minera de Chile (SQM).
- información de exploración proporcionada por la Empresa Nacional del Petróleo, (ENAP).

El Banco Central de Chile realizó en 1995 y 1996 un estudio sobre las reservas minerales de Chile (Banco Central, 1997). El objetivo de este trabajo, desde el punto de vista del Banco Central, era disponer de antecedentes globales sobre el estado y evolución del patrimonio mineral de Chile, y utilizar dicha información para introducir cuentas ambientales al Sistema de Cuentas Nacionales (SCN). Para conocer el inventario de reservas minerales de Chile se procedió, en conjunto con SERNAGEOMIN, a elaborar una encuesta, la que fue presentada a todas las empresas productoras de cobre, oro, plata, petróleo, manganeso, litio, carbón, hierro, salitre y carbonato de calcio, que contaban con una medición de sus recursos minerales al 31 de diciembre de 1994 y que a la vez tenían proyectos en desarrollo en dicha fecha. El informe mencionado anteriormente considera sólo cobre, oro, carbón y carbonato de calcio. Este informe presenta los resultados del cobre, oro y carbón.

Existen varios métodos para clasificar reservas y recursos minerales. En este trabajo se hace referencia al sistema utilizado en la encuesta del

Cuadro 7.1

Reservas y recursos de cobre, oro y carbón.

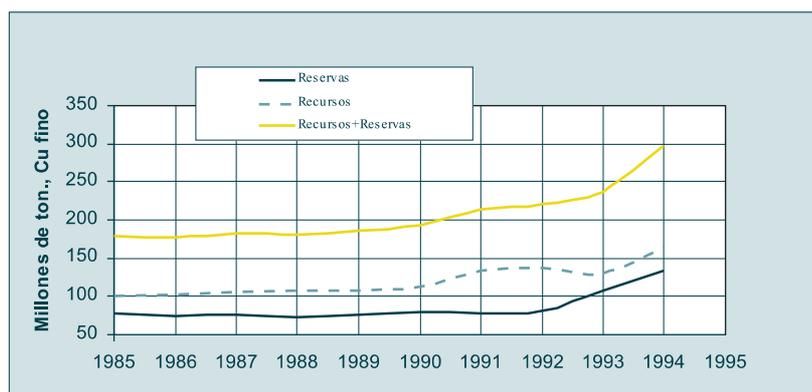
Fuente: Banco Central de Chile, "Cuantificación de los principales recursos minerales de Chile, 1985-1994, Publicado en Diciembre de 1997

Cobre (millones de toneladas)										
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
5. Recursos totales	176,71	174,88	181,12	181,64	183,25	191,88	211,55	217,37	235,30	293,96
5.1 Reservas	76,64	73,03	75,35	74,60	74,72	79,45	77,67	79,69	104,26	131,49
5.2 Otros recursos	100,07	101,85	105,77	107,04	108,53	112,43	133,88	137,68	131,04	162,47
Oro (Miles de Kg)										
5. Recursos totales	96,90	155,70	227,90	222,40	268,99	331,69	345,79	368,03	433,39	669,53
5.1 Reservas	69,70	123,00	168,30	158,50	221,19	258,81	261,59	298,17	283,33	468,87
5.2 Otros Recursos	27,20	32,70	59,60	63,90	47,80	72,88	84,20	69,86	150,06	200,66
Carbón (Millones de toneladas)										
5. Recursos totales	48,73	119,16	117,85	115,21	119,76	116,59	134,28	131,86	129,07	188,37
5.1 Reservas	20,02	71,91	70,97	68,93	71,60	69,01	52,62	50,75	49,15	65,45
5.2 Otros recursos	28,71	47,25	46,89	46,29	48,17	47,59	81,66	81,11	79,92	122,92

Figura 7.1

Reservas y Recursos de Cobre de Chile

Fuente: Banco Central, 1997.



Banco Central y SERNAGEOMIN, y a los conceptos utilizados por CODELCO, los que corresponden a una precisión de las definiciones, un tanto generales, del Bureau of Mines de los Estados Unidos, USBM (US Geological Survey Circular 831,1980 & Mineral Commodity Summaries 1991). El Banco Central utilizó también una adaptación de la metodología del USBM ya que algunas empresas que reportaron reservas utilizaban la clasificación del Consejo Australiano de Minerales y Energía (CAME). El anexo 7.1 presenta mayores definiciones sobre recursos y reservas utilizadas por el Banco Central. La información disponible se presenta en el Cuadro 7.1, que corresponde a reservas demostradas (económicas) y a recursos demostrados e inferidos,

incluso si estos eran marginales o sub-económicos. Se excluyeron las reservas y recursos hipotéticos y especulativos.

Recursos y reservas de Cobre

La información sobre cobre corresponde a 35 empresas que representaban en 1994 el 97,3 por ciento de la producción de cobre de Chile. Se incluye en los totales todas las reservas y recursos descubiertos antes de diciembre de 1994. Los yacimientos descubiertos después de 1985 se incorporan al inventario al año siguiente en que se reporta el descubrimiento. Se verificó también la existencia de yacimientos que interrumpieron su producción entre 1985 y 1994. El universo fue ampliado al 100

por ciento de la producción chilena suponiendo que las empresas que no tenían información tenían reservas para 15 años de vida útil.

En el informe del Banco Central, los recursos totales son iguales a la suma de las reservas (demostradas económicas) y de “otros recursos” (demostrados e inferidos, económicos, marginales y sub-económicos). En la Figura 7.1, se observa un aumento significativo de reservas de cobre en varios años. Ello se debió a cambios en los sistemas de cubicación y también a la existencia de nuevos yacimientos. Se destaca en el informe del Banco Central, que una parte (no se cita qué fracción) del aumento de reservas correspondió a considerar que algunos desechos habían sido incorporados como recursos. Cuando se resta la producción de cada año, se observa un aumento de 66,3 por ciento en los recursos totales de cobre de Chile en el período 1985-1994. La vida útil de la minería del cobre chileno, medida en términos de los recursos totales se mantuvo relativamente constante (alrededor de 130 años) entre 1985 y 1994.

La información sobre inversión en exploración en Chile es fragmentada. Se sabe que a mediados de los 80 la inversión en exploración en Chile era pequeña en relación a lo que fue desde principios de los 90 (Metals Economic Group). En 1991 y 1992 Chile se transformó en el primer país de Latinoamérica para la exploración, con inversiones estimadas en 86,1 y 91,2 millones de dólares nominales, respectivamente. En 1998 dicha cifra había subido a 177 millones y era seguido por Perú (136 US\$ millones), México (127,2 US\$ millones), Brasil (121,9 US\$ millones) y Argentina (76 US\$ millones). En este mismo año, se invirtieron 306 US\$ millones en Canadá, y 243 en EEUU en exploración. Lo anterior indica que relativo a su tamaño, Chile tenía en 1998 la más alta inversión en exploración

de minerales del mundo. Elementos de análisis de las reservas se discuten en el Anexo 1.

La Figura 7.2. muestra los recursos identificados y las reservas base de CODELCO. Los recursos de cobre desde 1976 a 1989 (CODELCO, 1990) corresponden a la suma de aquellos recursos de cobre reportados por las Divisiones a la Gerencia Técnica, pero carecen de una base común que permita compararlos fácilmente en la actualidad. Desde 1991-92, la Gerencia de Exploraciones adoptó el criterio de clasificación del US Bureau of Mines para reservas y recursos minerales, el que es aplicado ahora por todas las Divisiones. Por ello, los datos más fidedignos son aquellos desde 1992, los que corresponden a recursos identificados, es decir demostrados más inferidos, con ley de corte igual a cero y con leyes promedio variables. Las reservas base identificadas en CODELCO se muestran en la Figura 7.2, y tienen ley de corte variable para algunas Divisiones (Chuquicamata) y constante para otras (Radomiro Tomic, Salvador y Andina).

La Figura 7.3 muestra la producción de cobre de CODELCO y la de Chile en el período 1975-1998.

Los recursos mineros identificados de CODELCO aumentaron en 8,8 por ciento, es decir 15,3 millones de toneladas de cobre fino entre 1992 y 1997, mientras que en el mismo período, la empresa explotó 7,14 millones de toneladas de cobre fino. En términos reales, por ende, los recursos aumentaron en 8,16 millones de toneladas, o un 4,4 por ciento. CODELCO explotaba en 1997 el 0,7 por ciento de sus recursos mineros identificados. En el mismo período se observa una tendencia similar para las reservas base identificadas de CODELCO, las que aumentaron en 29 millones de toneladas, o un 36,7 por ciento. En 1997, Codelco explotó el 1,2% de sus reservas base identificadas. De las cifras anteriores podría dedu-

Figura 7.2

CODELCO: Recursos y reservas de cobre, e inversión en exploración.

Fuente: Gerencias de Exploraciones y de Planificación, CODELCO, 1990.

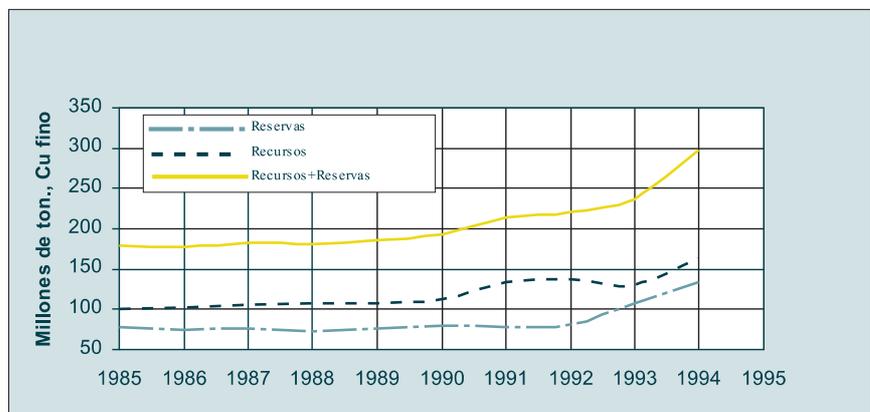
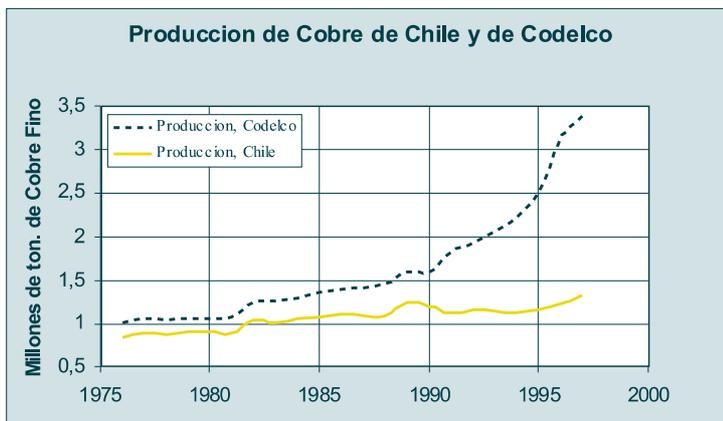


Figura 7.3

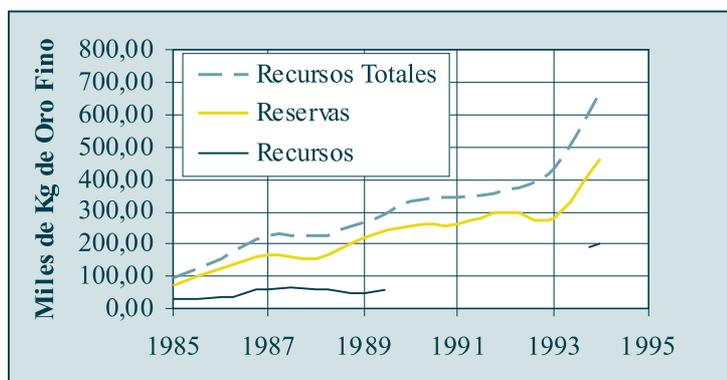
Producción de cobre de Chile y de Codelco.



Fuente: Cochilco.

Figura 7.4

Reservas y recursos de oro de Chile.



Fuente: Banco Central, 1997

irse que sus recursos y reservas identificadas a 1997, serían suficientes para explotar los yacimientos durante 142 años, si se utiliza como base el total de recursos disponibles o, durante 83 años si se utiliza como base del cálculo las reservas disponibles. Desgraciadamente, estas conclusiones son erróneas, como se discute en el Anexo 7.2.

Se observa también que los recursos minerales permanecieron prácticamente constantes desde 1980 a 1989, y que sólo comenzaron a repuntar en 1992. El Anexo 7.2 discute e interpreta el significado de las reservas y recursos de CODELCO.

Recursos y reservas de Oro

La información del Banco Central (1997) corresponde a 20 empresas que representaban en 1994, 91,5 por ciento de la producción de oro de mina. Las reservas y recursos de oro de Chile aumentaron en un 670 entre 1985 y 1994, según se aprecia en la Figura 7.4. El mayor aumento en reservas fue en el año 1994, cuando se descubrieron 5 nuevos yacimientos.

Al ritmo de producción de 1994 los recursos totales de oro alcanzaban para producir durante 15,2 años.

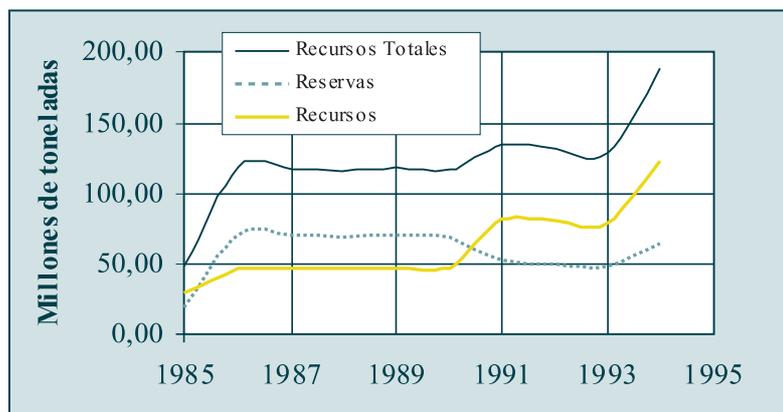
Recursos y reservas de Carbón

La información del Banco Central (1997) corresponde a 7 empresas y 11 faenas mineras que representaban en 1994, el 92,7 por ciento de la producción de carbón. La Figura 7.5 muestra que las reservas y recursos totales se mantuvieron constantes en el período 1986-1993. En 1994 se observa un aumento de los recursos totales de aproximadamente un 45 por ciento. Los recursos totales de carbón habrían alcanzado en 1994 para abastecer la producción chilena durante 114 años, explotando este mineral a la tasa de dicho año (1,66 millones de toneladas).

Como es ampliamente conocido, la producción de carbón se redujo fuertemente en 1998, ya que la calidad de las reservas y recursos de este mineral no permitían lograr una explotación económica. Este

Figura 7.5

Reservas y recursos de carbón de Chile.



Fuente: Banco Central, 1997

es un caso claro en que si bien las reservas físicas existían e incluso crecieron, ocurrió el agotamiento de las reservas económicamente explotables.

Recursos y reservas de Litio

Los recursos y reservas de litio de Chile se sitúan en las salmueras del Salar de Atacama, las que son explotadas para producir litio, boro y sales potásicas, por la Sociedad Chilena de Litio, empresa perteneciente al consorcio Alemán Metalgesellschaft, y por SQM Salar, filial de SOQUIMICH. Las estimaciones publicadas más exhaustivas de reservas y recursos fueron realizadas en 1977 (Evans, 1978) y concluyen en la existencia de 1,29 millones de toneladas de reservas clase A (probadas mediante exploración sistemática), y 3,0 millones de toneladas de reservas inferidas por información geológica. En 1986 Lithium Australia Ltd. Prospectus, estimó reservas probadas y probables de 1,5 millones de toneladas, mientras que el Bureau de Minas de los Estados Unidos (USBM, 1986), estimó 2,68 millones de toneladas de recursos identificados. En 1988 esta misma institución estimó que las reservas base eran de 1,36 millones de toneladas. En 1989 un grupo liderado por Haigh (Haigh y Kingsnorth, 1989) estimó que los recursos de litio de Chile eran 1,52 millones de toneladas. Finalmente, en 1998 el USBM (USBM, 1999) estimó que las reservas base de litio de Chile serían de 3,0 millones de toneladas, lo que significaría un aumento de más de 100 por ciento con respecto a su estimación de 1988. No existen, sin embargo, antecedentes para avalar dicho aumento de reservas por cuanto no se habría realizado exploración de esa magnitud en el período 1988-1999, lo que hace suponer que la cifra citada por el USBM en 1999 se deba a un error de transcripción.

El ritmo de consumo mundial de litio creció en 4,5 por ciento anual promedio desde 1966 a 1996,

llegando a 7800 toneladas en este último año (Roskill, 1999). La vida útil de las reservas de Chile citadas por el USBM en 1999 durarían cerca de 380 años si Chile tuviera que abastecer a la totalidad del mercado mundial y de 1130 años si tuviese que abastecer la producción de Chile de 1996.

Se estima que Chile tenía en 1998, el 31,9 por ciento de las reservas mundiales de este metal. Bolivia tenía el 57,4 por ciento, EEUU el 4,3 por ciento, Canadá el 3,8 por ciento, Australia el 1,7 por ciento y los demás países el resto. En 1986 la segmentación de reservas de litio por país era muy similar (USBM, 1986b).

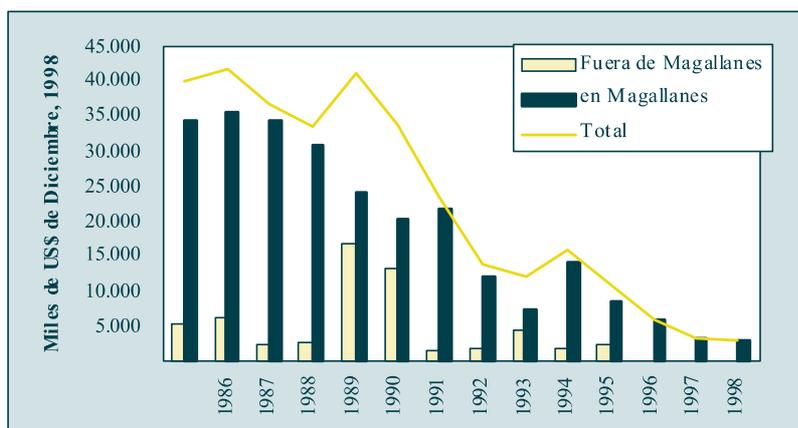
Recursos y reservas de Petróleo

Se dispuso de información sobre inversión en exploración realizada por dicha empresa, la que es presentada en la Figura 7.6. Se aprecia que la inversión ha ido declinando hasta llegar a menos de 5 millones de dólares en 1998. Esta información, sumada a la información sobre producción (ver sección 7.1.2), permite deducir que las reservas de ENAP son mínimas en relación a la demanda interna y que ellas no permitirían revertir la declinación de la producción de petróleo de dicha empresa en Chile.

El Cuadro 7.2. presenta la información de producción de los principales recursos no renovables chilenos en el período 1970-1998. Los productos considerados son: cobre, molibdeno, oro, plata, hierro, litio, nitratos, yodo, petróleo, gas natural y carbón. El molibdeno es un subproducto de la producción de cobre. La producción de oro y plata se origina a partir de minas de oro y plata, y también a partir de minas de cobre. Una fracción del oro producido a partir de minas de cobre se exporta en los concentrados, mientras que el resto se recupera en Chile a partir de los barros anódicos, subproducto de la electrorrefinación de cobre.

Figura 7.6

Inversión en exploración de ENAP, dentro y fuera de Magallanes



Cuadro 7.2

Producción Chilena de los principales recursos no renovables: período 1970-1998

Producción Minera Chilena											
Año	Cobre Miles de T.M. de Fino	Molibdeno T.M. de Fino	Oro Kg. de Fino	Plata Kg. de Fino	Hierro Miles de T.M. de Mineral	Carbonato de Litio	Nitratos T.M.	Yodo T.M.	Petróleo m3	Gas Natural Millones de m3	Carbón T.M. Netas
1970	691,6	5.701,0	1.622,9	76.204,6	11.264,9		673.800	n/d	1.976.470	7.628	1.382.440
1971	708,3	6.792,3	2.577,3	153.025,0	11.227,6		828.900	n/d	2.048.120	7.086	1.519.520
1972	71,8	5.890,0	2.941,5	145.856,4	8.639,9		707.300	2.272	1.991.500	8.073	1.334.990
1973	735,4	4.891,0	3.226,1	156.732,0	9.416,4		696.500	2.210	1.817.020	7.376	1.292.660
1974	902,1	9.757,0	3.708,0	207.558,4	10.296,4		738.800	2.272	1.598.562	7.042	1.409.630
1975	828,3	9.092,0	3.997,2	193.959,5	11.006,7		726.700	1.961	1.422.295	7.097	1.392.350
1976	1.005,2	10.899,0	4.017,7	228.349,6	10.054,6		619.000	1.423	1.330.960	7.032	1.222.540
1977	1.054,2	10.937,0	3.619,7	263.179,1	8.021,3		562.200	1.856	1.131.895	6.719	1.270.870
1978	1.034,2	13.196,0	3.181,5	255.373,6	7.813,4		529.600	1.922	998.528	6.167	1.089.850
1979	1.062,7	13.559,0	3.465,1	271.835,6	8.225,1		529.600	2.409	1.202.048	5.732	915.000
1980	1.067,9	13.668,0	6.835,7	298.545,1	8.834,6		621.300	2.601	1.933.137	5.396	995.560
1981	1.081,1	15.360,0	12.456,3	361.107,4	8.514,2		620.400	2.688	2.401.331	5.079	1.147.120
1982	1.242,2	20.048,0	16.906,9	328.187,8	6.469,9		624.400	2.596	2.484.212	5.064	975.070
1983	1.257,1	15.264,0	17.759,2	468.276,0	5.973,7		576.800	2.792	2.283.782	4.803	1.077.830
1984	1.290,7	16.861,0	16.828,6	490.365,4	7.115,8	2.110	622.500	2.661	2.236.719	4.898	1.306.785
1985	1.356,2	18.391,0	17.240,1	517.332,6	6.510,0	4.508	786.891	n/d	2.074.350	4.638	1.369.763
1986	1.401,1	16.581,0	17.947,1	500.076,6	7.009,0	4.458	827.000	n/d	1.940.328	4.357	1.441.016
1987	1.418,1	16.941,0	17.034,7	499.761,1	6.690,2	6.139	826.000	n/d	1.736.398	4.352	1.736.152
1988	1.451,0	15.515,0	20.614,0	506.501,4	7.865,7	7.332	822.000	3.967	1.420.392	4.279	2.470.416
1989	1.609,3	16.550,0	22.558,9	545.412,2	8.760,7	7.508	826.271	4.881	1.281.912	4.236	2.403.553
1990	1.588,4	13.830,0	27.503,4	654.602,8	8.247,9	9.082	769.870	4.658	1.137.894	4.198	2.729.289
1991	1.814,3	14.434,0	28.879,4	676.339,1	8.414,4	8.575	776.310	4.935	1.033.312	4.067	2.740.561
1992	1.932,7	14.840,0	34.472,7	1.024.822,7	7.224,0	10.823	828.970	5.907	862.233	4.038	2.108.085
1993	2.055,4	14.899,0	33.637,5	970.067,9	7.379,0	10.369	863.755	4.978	825.082	4.196	1.793.066
1994	2.219,9	16.027,7	38.785,9	983.004,5	8.340,5	10.439	822.441	4.884	714.088	4.244	1.662.963
1995	2.488,6	17.888,5	44.585,4	1.041.097,5	8.431,6	12.943	894.750	5.103	605.135	3.783	1.484.867
1996	3.115,8	17.415,0	53.174,1	1.147.002,4	9.081,7	14.180	808.500	5.514	532.709	3.632	1.444.083
1997	3.392,0	21.339,4	49.459,1	1.091.311,4	8.738,2	24.246	847.000	7.154	489.043	3.211	1.413.297
1998	3.686,9	25.296,9	44.979,7	1.240.199,1	9.112,1	28.313	881.682	9.722	468.697	3.075	230.175

Fuentes: Estadísticas del Cobre y Otros Metales, Cochilco, Anuario de la Minería Chilena, Sernageomin, Boletín Mensual Banco Central, Balances de Energía, Comisión Nacional de Energía

Figura 7.7

Índices de crecimiento para la producción chilena del oro, plata, y litio, (1970=1, excepto para el litio, 1984=1).

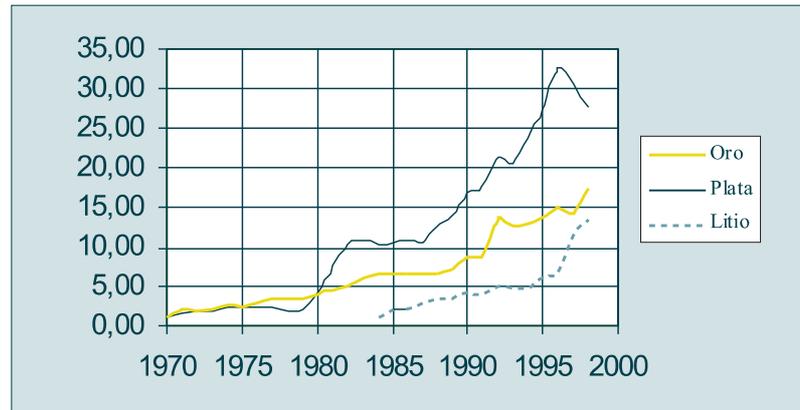
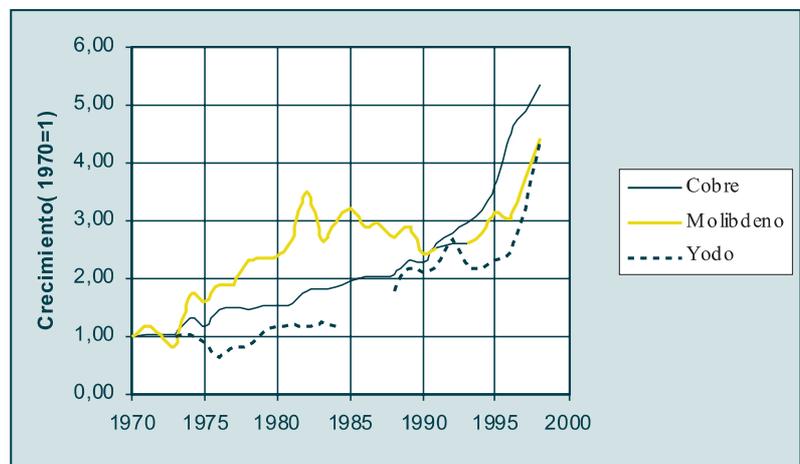


Figura 7.8

Índices de crecimiento para la producción chilena de: cobre, molibdeno y yodo, 1970=1.



7.1.2 Producción de recursos mineros

El oro, la plata y el litio, son los productos en que la producción creció más en el periodo considerado, con índices de crecimiento superior a 10 veces como se aprecia en la Figura 7.7.

En una segunda categoría, como se muestra en la Figura 7.8, se ubican el cobre, el molibdeno y el yodo, con índices que bordean las 5 veces de aumento en el período.

Finalmente, en una tercera categoría, como lo muestra la Figura 7.9, se ubican los demás productos. En este grupo, el nitrato es el único producto que aumenta su producción levemente, mientras que el hierro, el gas natural, el petróleo y el carbón, reducen su producción en el período. Como se aprecia, el carbón elevó su producción fuertemente entre 1980 y 1991, para posteriormente iniciar un período rápido de descenso, con el cierre sucesivo de las diversas minas, las prin-

cipales siendo Pecket, Lota y Schwager. El cierre se debió a motivos económicos originados por el costo de explotación de estos yacimientos y por la calidad calorífica del carbón, el que estaba en desventaja con carbón importado y también con el gas natural.

El cobre, el molibdeno, el litio, el oro, la plata, los nitratos y el yodo son productos dirigidos principalmente a la exportación, mientras que el petróleo, el gas natural y el carbón son productos exclusivamente para el mercado nacional. La producción de hierro está dirigida al mercado interno y externo.

La Figura 7.10 ilustra el decreciente aporte de la producción chilena de petróleo al consumo nacional. Cabe señalar que toda la producción chilena de petróleo se realiza a través de la Empresa Nacional de Petróleo. A fines de la década de los 70 se observa que la producción aumenta, ello debido a que comienza la producción "costa afuera". Una situación similar ocurre con el carbón.

Figura 7.9

Índices de crecimiento para la producción chilena de hierro, nitratos, petróleo, gas natural, y carbón, (1970=1).

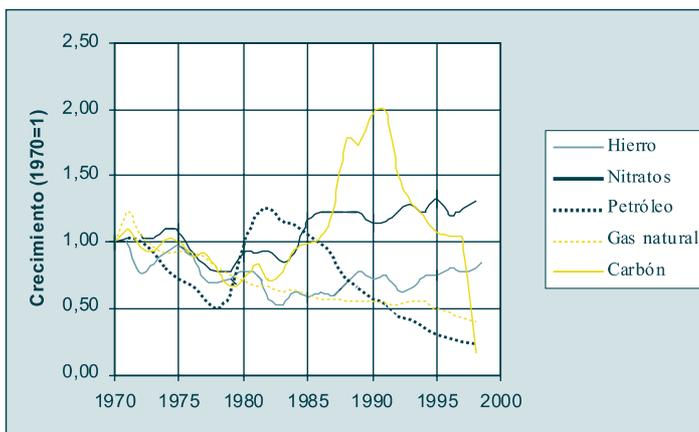
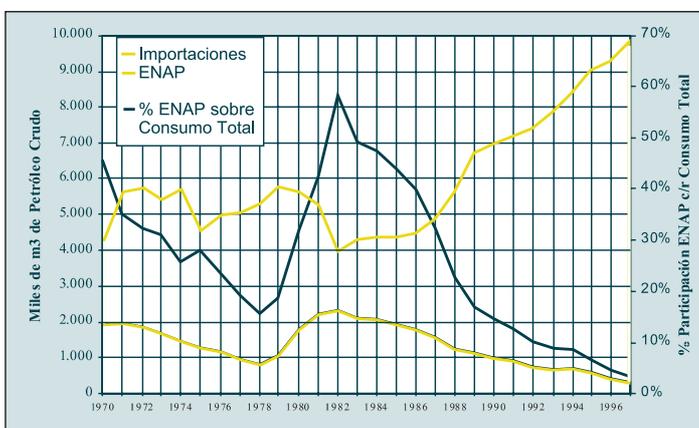


Figura 7.10

Producción de Petróleo de ENAP e importaciones de Petróleo de Chile. Importación más producción nacional de ENAP es igual al consumo.



Fuente: CNE, 1998.

En términos de la participación mundial de las exportaciones mineras metálicas, los más importantes son el cobre, el litio, el yodo y el molibdeno, como se indica en la Figura 7.11. En 1999, Chile fue el primer productor del mundo de cobre, litio y yodo. El oro y la plata producidos en Chile contribuyeron con cerca del 1,9 y el 8,2 por ciento del mercado mundial respectivamente en 1998. No se tiene información para la producción mundial de nitratos.

7.13 Análisis del impacto ambiental de la minería metálica

Impacto de la minería del cobre en la calidad del aire

Esta sección analiza el cumplimiento de los Planes de Descontaminación de tres de las siete fundiciones de cobre que operan en Chile. Las fundiciones de Chuquicamata, Hernán Videla Lira,

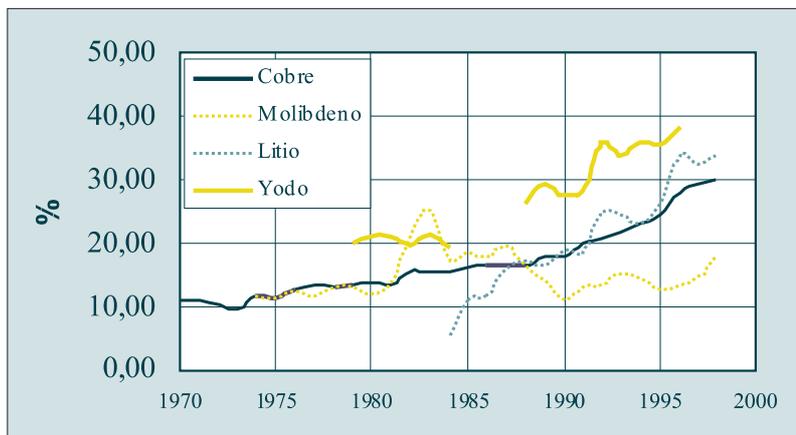
conocida también como Paipote, y de Ventanas, son tres de las siete fundiciones de cobre que operaban en Chile en 1999. Dichas fundiciones producen el 32,5, 5,0 y 8,1 por ciento respectivamente de la producción de cobre fundido en Chile, haciendo un total de 640 mil toneladas. (Como complemento véase sección 1.1.2 del capítulo 2.

En la Figura 7.12 se presentan los datos de emisión total, captación total y aporte total de azufre para las siete fundiciones de cobre que operan en Chile, las que incluyen, además de las mencionadas, a las fundiciones de Altonorte, Potrerillos, Chagres y Caletones. Se observa que a pesar del aumento en 22,5 por ciento de la producción de concentrados entre 1990 y 1998, la emisión de azufre se redujo en 26,6 por ciento. Al concluirse los planes de descontaminación, en el año 2003, la emisión de azufre debería reducirse a 52,6 por ciento respecto al año 1998, mientras que la producción de cobre de las fundiciones subirá un 11,6 por ciento con respecto al mismo año.

Figura 7.11

Porcentaje de la participación de Chile en la producción mundial de cobre, litio, yodo, y molibdeno,

Fuentes: World Bureau of Metal Statistics, World Bureau of Mineral Statistics, Roskill Information Services Ltd, Londres, Inglaterra.

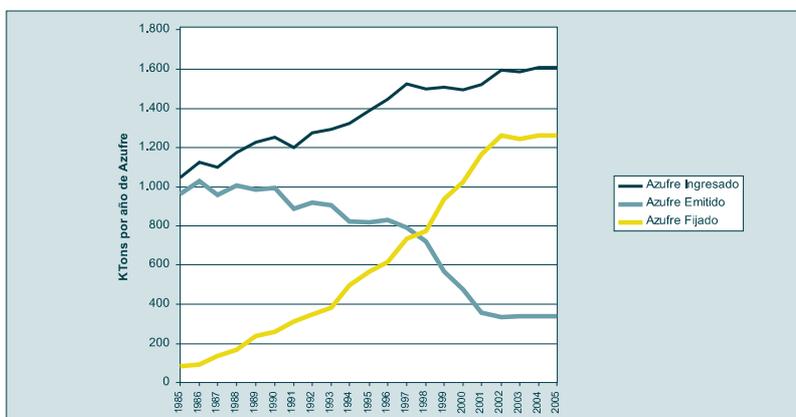


7

Figura 7.12

Producción de cobre blister en fundiciones chilenas, emisión y captación de azufre en fundiciones chilenas.

Fuente: estimación de Planes de Descontaminación y Lagos, 1999.



Impacto de la minería del cobre en el recurso agua

Esta sección analiza el uso del agua en la minería en las regiones primera a cuarta, en donde la actividad minera es muy importante respecto al resto de las actividades económicas. Asimismo se analiza el contenido metálico de las aguas del Río Loa, y se estudia la correlación entre dicho contenido y la actividad minera regional.

Uso del agua

La figura 7.13, muestra la evolución de la demanda de agua, en m³/s, por parte del sector minero a nivel regional, se muestra también una proyección para el año 2015 (DGA, 1996).

Esta información incluye la captación de aguas superficiales y de algunas fuentes subterráneas desde la primera a la cuarta región. Se observa que la Tercera Región tiene en 1999 el doble de consumo de agua que la Segunda Región, pese a que produce 5,5 veces menos cobre que ésta. Esta

diferencia en producción de cobre podría quedar contrarrestada por la producción de fierro de la Tercera Región, la que es masiva.

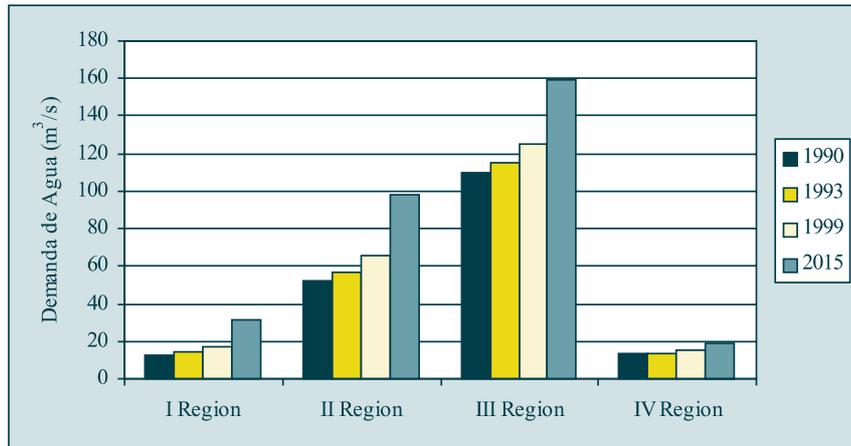
La minería compite con los otros sectores económicos regionales por el agua disponible. La Figura 7.14 muestra el porcentaje de agua consumido por la minería con respecto al total de usos consuntivos de agua por región. Dentro de los usos consuntivos se incluye: consumo agrícola, agua potable, consumo industrial y minería, y se excluye el uso energético por ser éste del tipo no consuntivo.

Las Figuras 7.15 muestran la evolución del consumo de agua del sector minero en el periodo 1989-1999 y la evolución de la producción de cobre, oro y plata en el mismo periodo para las regiones I, II, III y IV.

Se observa nuevamente que el consumo de agua estimado por la DGA (1996) no es proporcional al incremento de la actividad minera, lo que hace suponer que dicho consumo no considera todas las fuentes a las que accede la minería.

Figura 7.13

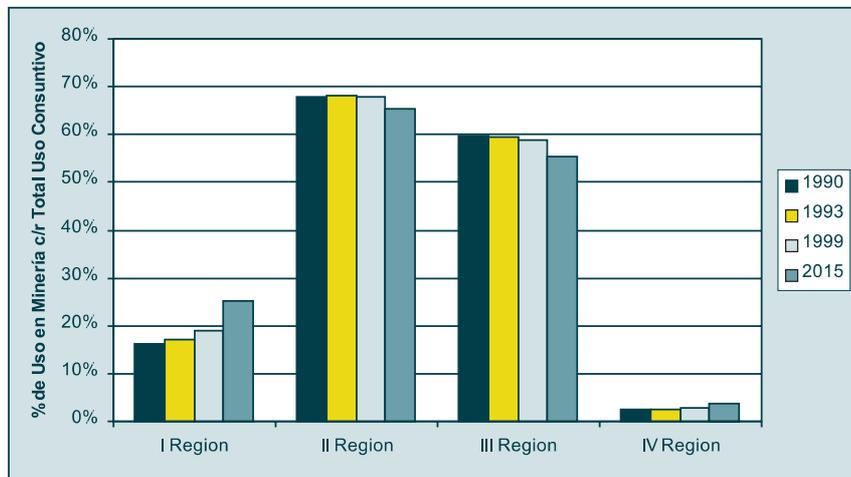
Demanda de agua en minería, por región.



Fuente: DGA, 1996.

Figura 7.14

Uso de agua de la minería con respecto al total de uso consuntivo.

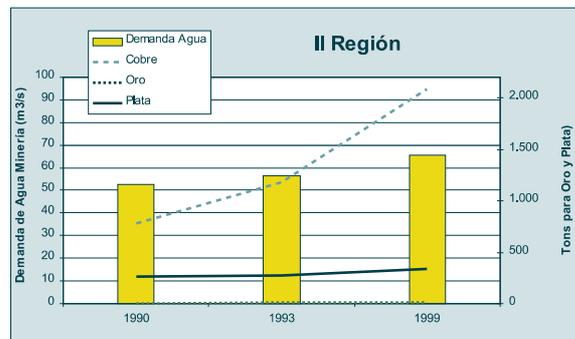
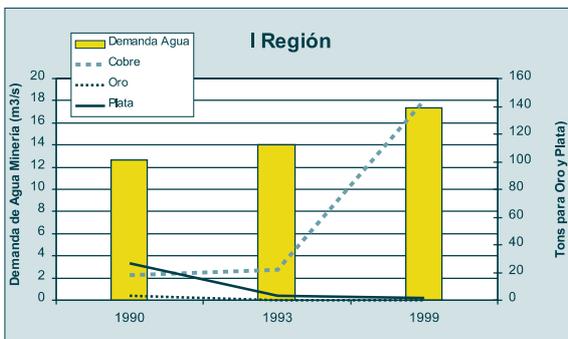


Fuente: DGA, 1996.

Figura 7.15

Consumo de agua de la minería y producción de cobre, oro, plata por región

Fuente: DGA, 1996.



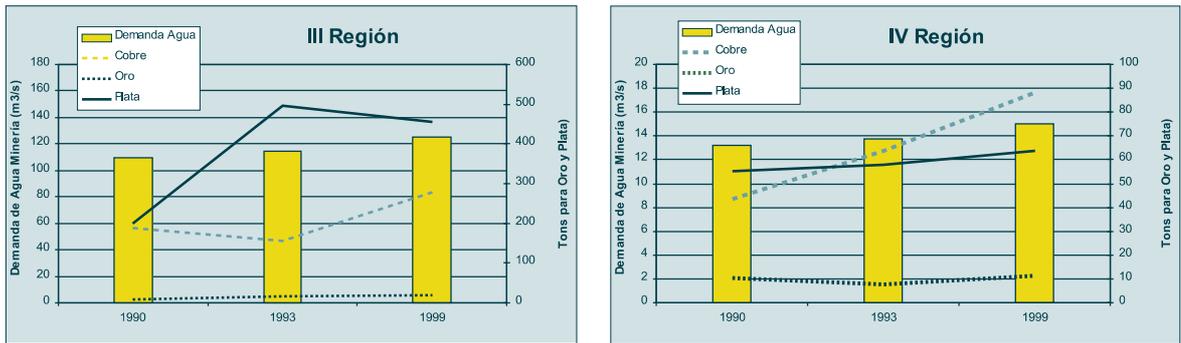
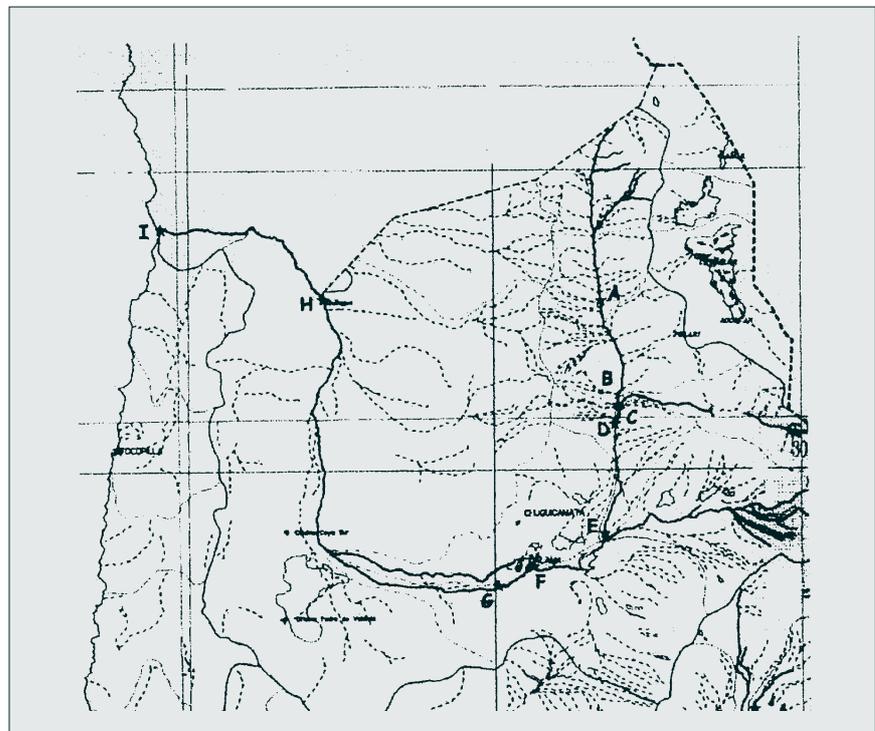


Figura 7.16

Mapa del Río Loa en la II Región. Se indica las estaciones de monitoreo de la calidad del agua utilizadas por la DGA.



Calidad del agua

La DGA mantiene una red de monitoreo anual de la calidad del agua de las principales cuencas del país. En esta sección se analizará el caso de la cuenca del río Loa, por ser esta la principal cuenca hídrica de la II Región.

La Figura 7.16 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo consideradas para el presente análisis.

Las estaciones de monitoreo están identificadas con las letras "A" a la "I". La estación A está al inicio de la cuenca del río, mientras que la I se ubica en la desembocadura. El nombre de cada estación en particular se presenta en el Cuadro 7.3.

La Figura 7.17 muestra la concentración de arsénico (en mg/lit) medida por la DGA en las 9 estaciones antes mencionadas entre los años 1987 y 1994. También se muestra la Norma Chilena de riego para el Arsénico, la que corresponde a 0,1

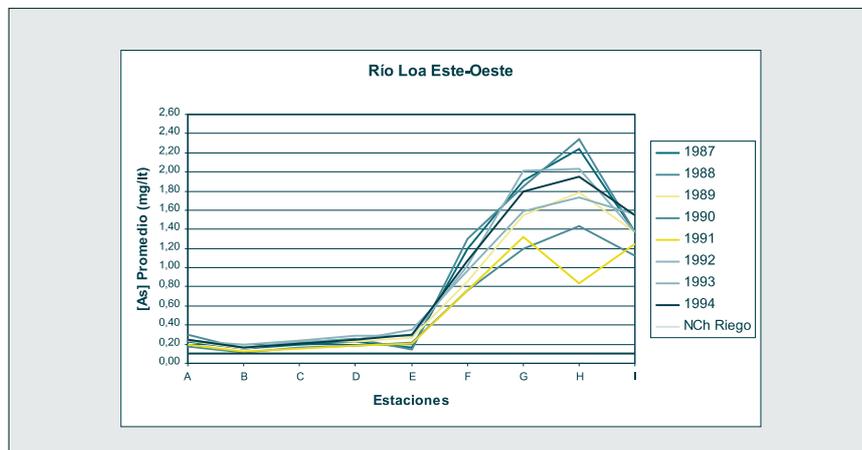
Cuadro 7.3

Nombre de las estaciones de monitoreo de calidad del agua de la DGA en el Río Loa consideradas en este estudio.

Nº	Estación
A	Río Loa en Represa Lequegna
B	Río Loa en Quinchamales
C	Río Loa en Alcantarilla Conchi nº 2
D	Río Loa en salida Embalse Conchi
E	Río Loa antes junta Río Salado
F	Río Loa en Yalquincha
G	Río Loa en Finca
H	Río Loa en Quillagua
I	Río Loa en Desembocadura

Figura 7.17

Concentración de arsénico (en mg/lit) medida por la DGA en 9 estaciones del Río Loa entre los años 1987 y 1994



mg/lit. Cabe señalar que la norma para agua potable es de 0,05 mg/lit.

Como se aprecia el río Loa ha superado consistentemente la norma de riego y de agua potable para el Arsénico. Entre la estación A (en represa Lequegna) y la estación E (antes de la Junta con el Río Salado), la norma de riego se supera en promedio en dos veces. Se observa que la concentración de arsénico aumenta desde la desembocadura del Río Salado (Estación E) hacia el Mar hasta llegar a un máximo de 25 veces de excedencia de la norma de riego, en la Estación del Río Loa en Quillagua.

La Figura 7.18 muestra la concentración de cobre (en mg/lit) medida por la DGA en las 9 estaciones antes mencionadas entre los años 1988 y 1994.

Como se observa, ninguna estación supera la norma chilena de riego para el cobre, la cual es de 0,2 mg/lit., pero se observa un aumento consistente de la concentración de cobre desde el nacimiento hasta la desembocadura.

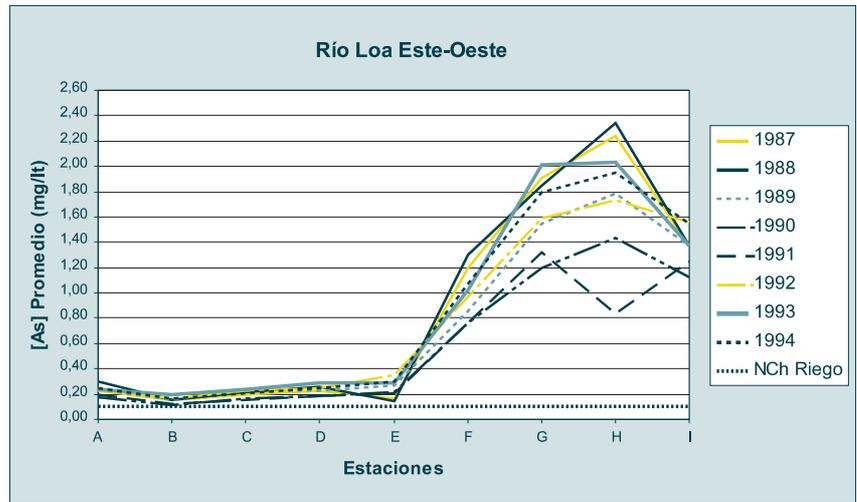
La Figura 7.19 muestra el uso del agua en la estaciones D, F, y H. En las dos últimas estaciones hay un importante uso agrícola de las aguas, en circunstancia que se supera ampliamente la norma de Arsénico. En la estación D, en donde también se supera ampliamente la norma de arsénico, parte del agua se utiliza con fines de agua potable.

La Figura 7.20 muestra el comportamiento que ha tenido la producción de cobre de las faenas mineras que se encuentran en la cuenca del río Loa (Chuquicamata, El Abra y Radomiro Tomic) y la concentración de arsénico que se ha detectado en la estación de monitoreo más cercana y ubicada aguas abajo de estas faenas.

Como se observa no hay una relación entre los niveles de producción de cobre y la concentración de arsénico aguas abajo del Río Loa. El coeficiente de correlación entre ambas variables es de -0.53. Lo mismo se cumple para la concentración de cobre medida en dicha estación.

Figura 7.18

Concentración de cobre (en mg/lit) medida por la DGA en 9 estaciones en el Río Loa entre los años 1988 y 1994.



7

Figura 7.19

Uso del agua en las estaciones D, F, y H del Río Loa, 1996.

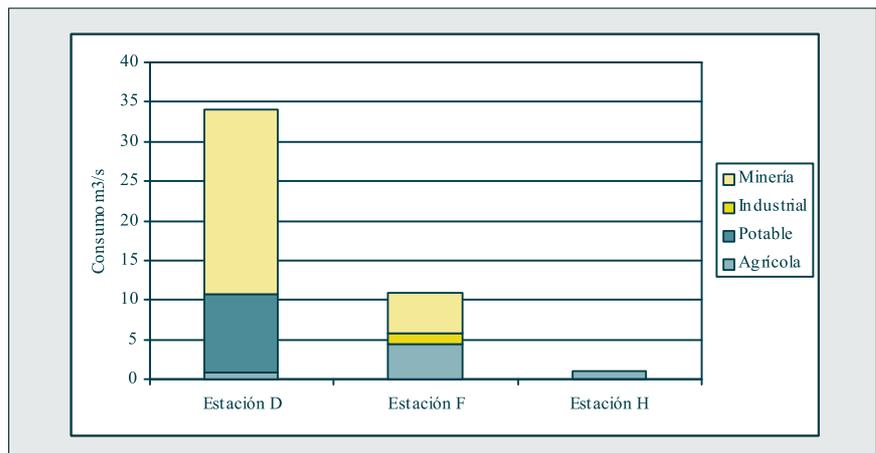
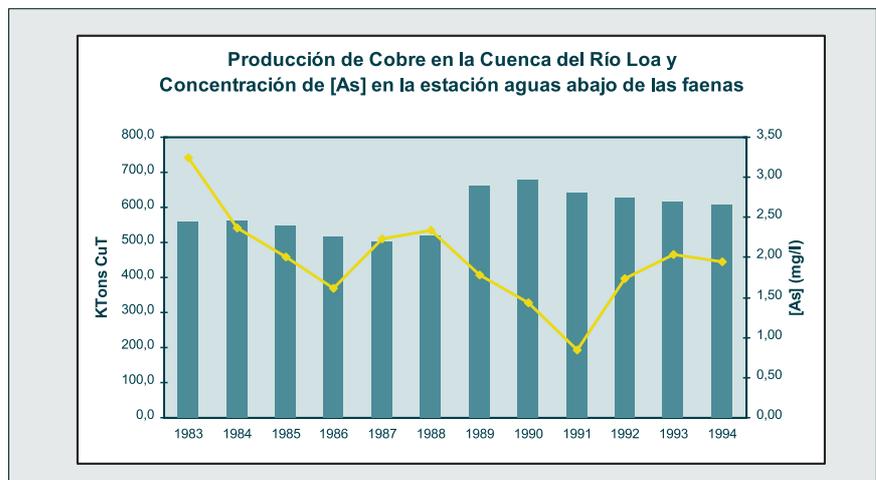


Figura 7.20

Producción de cobre en las minas Chuquicamata, Radomiro Tomic y El Abra y concentración de arsénico en la estación de medición de calidad del agua de la DGA aguas abajo de dichas faenas mineras.



Cuadro 7.4

Factores de emisión de residuos sólidos masivos de la minería del cobre y del oro

Fuente: SONAMI, 1998

RESIDUO	FACTOR DE EMISIÓN
Relave de flotación	80 ton/ton Cu
Escoria de fundición	1.8 ton/ton Cu
Ripios de lixiviación	190.5 ton/ton Cu 1500 ton/kg Au
Estéril de mina	377 ton/ton Cu 315 ton/kg Au

Impacto de la minería del cobre en la generación de residuos sólidos

El proceso de extracción y recuperación de metales desde un yacimiento minero genera residuos masivos de dos tipos. Residuos provenientes del proceso de recuperación del metal valioso (relaves, escorias y ripios), y material de descarte de la mina que no ha entrado a los procesos de beneficio (estéril). El Anexo 7.3 contiene una definición del significado de relaves, escorias, ripios, y estériles.

La estimación del volumen total de residuos masivos de la minería del cobre se realizó mediante la utilización de "factores de emisión", los cuales entregan un promedio esperado de generación unitaria de este tipo de residuos por tipo de proceso. El Cuadro 7.4 entrega los factores de generación de residuos sólidos masivos elaborados para la minería del cobre y el oro en Chile para el año 1998 (SGA, 1998). Cabe agregar que cada índice ha sido calculado a partir de una sola faena minera, por lo que su uso para toda la minería del cobre podría contener errores significativos de sobre o sub-estimación, dependiendo del origen del dato.

El Cuadro 7.5 presenta la generación anual de residuos masivos de la minería del cobre chilena en miles de toneladas. Estos tonelajes fueron estimados utilizando los factores de emisión del Cuadro 7.4 y con datos de producción de 35 faenas mineras grandes y medianas, y la producción total de la pequeña minería. Obviamente, se excluyó las minas subterráneas para la estimación de estéril.

En el transcurso de la década se han producido significativos avances en el diseño y técnicas de explotación de yacimientos mineros, así como en la pirometalurgia del cobre. Para el caso de los relaves y los ripios de lixiviación puede considerarse que los factores de emisión estimados para el año 1998 son equivalentes a los del año 1989 ya que ellos no han dependido, en este periodo, de la tecnología. En los casos del estéril y las escorias, los cambios tecnológicos han influido significativamente en modificar los factores de emisión.

Se observa un crecimiento de la generación de residuos mineros en el período 1989 y 1998, que se debe al incremento sostenido de la producción de cobre en el mismo período, la cual subió de 1,61 millones de toneladas de cobre fino en 1989 a 3,69 millones en 1998.

El riesgo generado por la disposición de estos residuos depende fuertemente de la ubicación y el tipo de manejo de cada uno de ellos, por lo que no es posible deducir de estas cifras conclusiones respecto a los impactos ambientales generados. Las siguientes Figuras muestran la evolución que ha tenido la generación de residuos masivos de la minería del cobre, por región, en el periodo 1989-1998.

El manejo "ambiental" de los residuos mineros ha sido abordado por SERNAGEOMIN con los siguientes instrumentos legales: el "Reglamento de Seguridad Minera", el Decreto Ley N° 86 del Ministerio de Minería, que regula la construcción y operación de tranques de relaves y la Ley de Bases del Medio Ambiente (19.300).

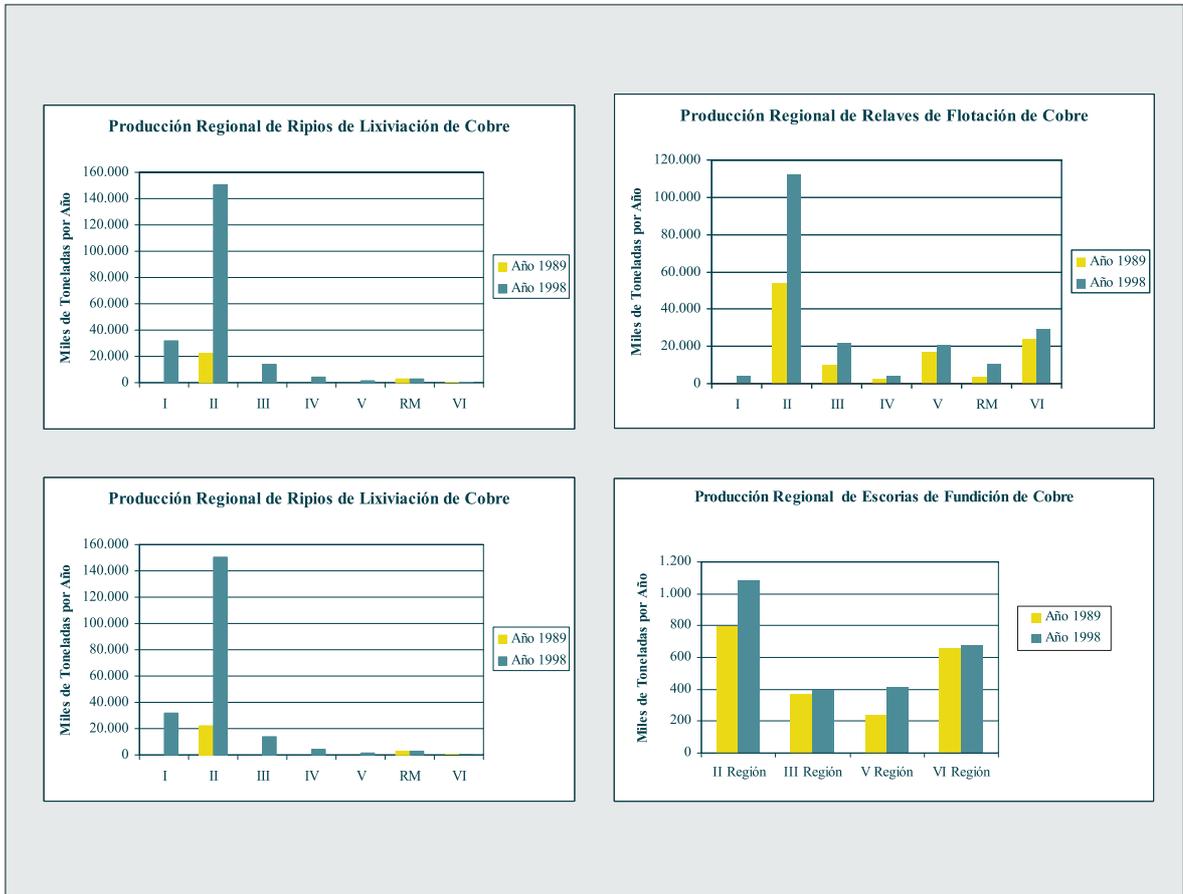
Cuadro 7.5

Estimación de residuos masivos generados por la minería del cobre en 1989 y 1998.

AÑO	RELAVES (miles de Ton)	RIPIOS (miles de Ton)	ESCORIA (miles de Ton)	ESTÉRIL (miles de Ton)
1989	109.625,6	25.584,2	2.066,4	567.214,7
1998	202.040,0	204.216,0	2.583,0	1.356.257,5
Variación (%)	84,3%	698,2%	25,0%	139,1%

Figuras 7.21

Generación de rípios, relaves, estéril y escorias en las diversas regiones mineras de Chile



Impacto ambiental del abandono de faenas mineras

En la actualidad en Chile no existe una legislación que vele por el adecuado cierre de las faenas mineras, una vez que estas terminan su vida útil. Esto se traduce en que existen muchas faenas mineras que se encuentran abandonadas produciendo impactos o riesgos a la salud y el ambiente negativos.

Dentro de los impactos ambientales más relevantes que se pueden producir debido al abandono de una faena minera, por ejemplo, están los riesgos de contaminación de ríos, lagos, bordes

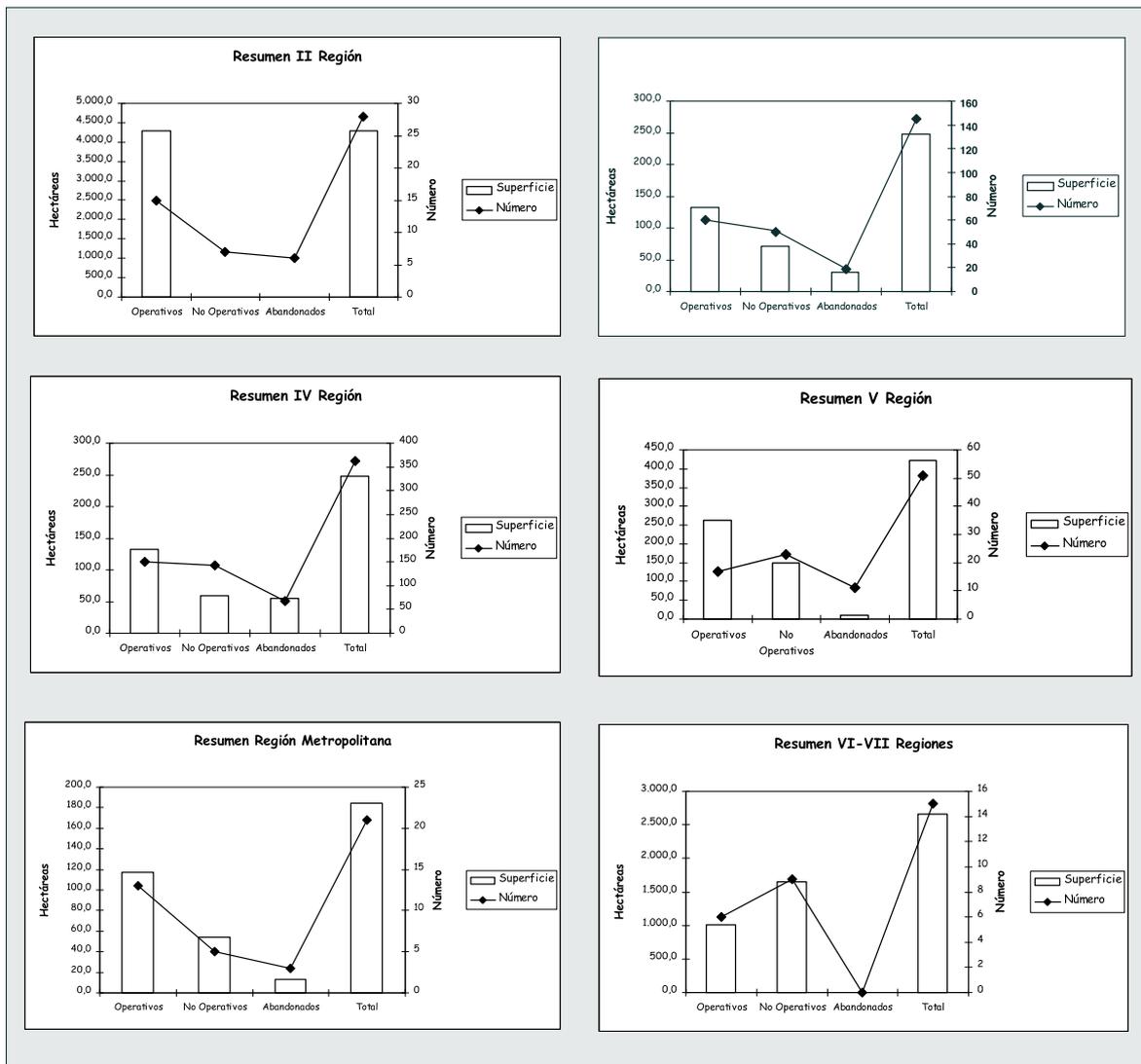
costeros, etc., problemas de seguridad y riesgo por falla sísmica o por falla debido a inundaciones, crecidas, avalanchas, emisión de material particulado, alteraciones estéticas y paisajísticas, drenaje ácido, etc.

La principal fuente de información en materia de abandono de faenas mineras lo constituye el Catastro de Tranques de Relave elaborado por el SERNAGEOMIN entre los años 1989–1990. Este catastro entrega una “foto” del estado de los tranques de relaves (no incluye botaderos de estéril, rípios u otras instalaciones) en el año 1989 desde un punto de vista de seguridad geomecánica haciendo algunas alusiones al es-

Figura 7.22

Tranques de relaves abandonados y superficie cubierta, por Regiones

Fuente: SERNAGEOMIN, 1989



Cuadro 7.6

Resumen de la situación de tranques de relaves a nivel nacional, 1989

Fuente: SERNAGEOMIN, 1989

SITUACIÓN DE LOS TRANQUES	Nº	SUPERFICIE CUBIERTA [há]
Tranques operativos	275	5.939
Tranques no operativos	243	1.987
Tranques abandonados	106	102
Total	624	8.028

tado ambiental y a sus posibles impactos. Durante 1999 el Ministerio de Minería ha realizado un estudio tendiente a identificar estas faenas abandonadas y priorizarlas desde un punto de vista de riesgo ambiental, con objeto de definir un plan de rehabilitación de estas faenas. El Cuadro 7.5 y la Figura 7.2 muestran un resumen del número de tranques de acuerdo a su condición de operativos, no operativos y abandonados, y las superficies cubiertas por estos a nivel regional.

Los principales impactos ambientales producidos por este tipo de instalaciones son:

II Región: Tranques abandonados en zonas costeras (Bahía de Tal-Tal): alteración del hábitat costero, disminución de flora y fauna y contaminación de playas.

III Región: Tranques abandonados en zonas costeras (Bahía de Chañaral): alteración del hábitat costero, disminución de flora y fauna y contaminación de playas.

Tranques abandonados cerca de ciudades (Tranque Ojancos en la ciudad de Copiapó): alteración estética y paisajística, emisión de material particulado y riesgo de accidentes por fallas geomecánicas.

Tranques abandonados en el cauce de ríos (Ríos Copiapó y Huasco): Riesgo de contaminación por crecidas o fallas geomecánicas, riesgo de contaminación por percolación de aguas lluvias.

IV Región: Tranques abandonados cerca y dentro de ciudades (Andacollo): alteración estética y paisajística, emisión de material particulado y riesgo de accidentes por fallas geomecánicas.

Tranques abandonados en el cauce de ríos (Río Elqui): Riesgo de contaminación por crecidas o fallas geomecánicas, riesgo de contaminación por percolación de aguas lluvias.

Tranques abandonados en zonas agrícolas (Valle del Elqui): Contaminación del suelo.

V Región: Tranques abandonados en parques nacionales (Parque La Campana): alteración estética y paisajística, riesgo de accidentes a visitantes, riesgo de generación de drenaje ácido.

Tranques abandonados cerca de poblaciones (Cabildo y Petorca): alteración estética y paisajística,

ca, emisión de material particulado y riesgo de accidentes por fallas geomecánicas.

VI Región: Tranques abandonados en cauces de ríos (Río Cachapoal): Riesgo de contaminación por crecidas o fallas geomecánicas, riesgo de contaminación por percolación de aguas lluvias y drenaje ácido.

Se aprecia que estos riesgos se producen por tranques que se hallaban abandonados ya en 1989.

7.2 FACTORES SOCIOECONÓMICOS BÁSICOS CONDICIONANTES DE LA PRODUCCIÓN Y DEL IMPACTO DE LA MINERÍA

Generación de divisas

El Cuadro 7.7 muestra las exportaciones de metales y otros productos de la minería chilena en el período 1970-1998.

La Figura 7.2.3 muestra la importante diversificación de las exportaciones de Chile en el período 1970-1998, a pesar del rápido crecimiento de las exportaciones mineras durante la década de los 90. Mientras en 1970 las exportaciones de cobre representaban más del 90 por ciento de las exportaciones de Chile, en 1990 ellas representaban 60 por ciento y en 1998 un 33,6 por ciento. Este último valor estuvo influenciado por el bajo precio del cobre de dicho año.

Por otra parte, las exportaciones de cobre siguen dominando las exportaciones mineras. En 1970 las exportaciones de cobre representaban cerca del 90 por ciento de las exportaciones mineras. En 1990 dicha cifra había disminuido a 83 por ciento, y esta participación se mantuvo en 1998.

La presión social de la pequeña minería de pirquineros

Existen en la actualidad tres definiciones de Pequeña Minería²: aquella utilizada por el SII para fines tributarios, aquella empleada por ENAMI y la empleada por SERNAGEOMIN.

Cuadro 7.7

Valor de las exportaciones de minerales y productos de la minería chilena (En dólares de cada año).

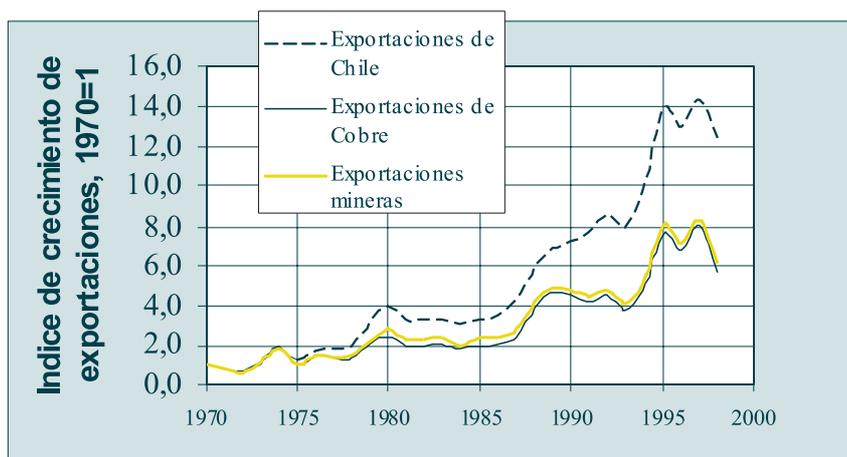
Fuente: Boletines Mensuales del Banco Central.

Estadísticas de Exportación												
Años	Exp. Totales	Cobre	Molibdeno	Metálico mineral de Oro y Plata, doré y oro aleado	Plata metálica, mineral de plata	Plata metálica	Mineral de Oro y Plata	Hierro	Carbonato de Litio	Salitre potásico y sodico	Yodo	Salitre y Yodo
	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)	MUS\$(FOB)
1970	1.184,4	870,3	11,2					71,0				24,5
1971	964,7	701,8						67,7				35,2
1972	836,2	657,6										
1973	1.247,6	1.025,5	9,6					62,0				33,6
1974	2.148,4	1.653,6	22,4					72,7				60,7
1975	1.552,1	890,4	30,3					90,9				55,2
1976	2.082,6	1.246,5	46,1					86,3				41,3
1977	2.190,3	1.187,4	53,6					81,5				39,8
1978	2.407,8	1.201,5	47,3					79,6				46,8
1979	3.763,4	1.799,6	193,5					110,4				58,4
1980	4.670,7	2.152,9	129,3			120,0	65,2	157,6		58,2	31,0	
1981	3.906,3	1.714,9	106,7			82,0	89,4	161,9		50,8	32,1	
1982	3.821,5	1.731,4	107,4			81,5	91,9	158,2		44,4	30,2	
1983	3.835,5	1.835,7				114,4	143,7	112,0		49,8	33,9	
1984	3.657,2	1.586,6				87,2	64,8	110,6		44,2	30,1	
1985	3.823,0	1.760,7	144,6	1521,1	77,8			91,5	13,3	50,5	34,6	
1986	4.222,4	1.771,0	97,6	161,4	74,1			88,4	12,4	53,4	39,1	
1987	5.101,9	2.100,5	99,8	223,5	80,3			101,0	16,4	48,5	49,4	
1988	7.048,3	3.375,3	108,0	255,6	82,8			109,8	19,6	56,4	65,0	
1989	8.190,4	4.066,1	113,0	259,2	90,3			124,6	22,5	51,9	78,8	
1990	8.580,3	3.913,4	94,3	312,1	89,7			140,5	23,6	61,4	57,6	
1991	9.048,4	3.590,0	78,6	306,5	59,1			157,4	25,3	59,0	49,7	
1992	10.123,6	3.903,0	83,9	319,2	89,0			153,3	30,9	74,8	49,3	
1993	9.415,0	3.337,5	77,4	265,1	81,1			112,2	31,7	72,9	34,1	
1994	11.643,4	4.191,0	128,7	362,6	114,7			124,4	32,4	61,8	37,4	
1995	16.444,7	6.646,8	373,7	428,5	132,5			123,9	38,6	70,8	62,3	
1996	15.396,2	5.881,0	122,8	480,7	153,4			146,9	39,6	71,8	91,5	
1997	17.024,8	6.975,8	189,2	411,6	136,7			149,6	40,5	77,5	140,2	
1998	14.757,1	4.968,3	172,4	273,8	133,1			163,3	38,1	75,3	183,8	

Figura 7.23

Exportaciones de Chile.

Fuente: Informes del Banco Central.



En este trabajo se consideran las estadísticas de empleo y producción de la pequeña minería proporcionadas por SERNAGEOMIN, el que usa la definición del SII.

La Figura 7.24 muestra los índices de producción y empleo para la pequeña minería del cobre, y el precio del cobre. Mientras la producción de cobre de este segmento representaba en 1997 el

Figura 7.24

Índices de producción y empleo para pequeña minería del cobre, y precio del cobre.

Índice Producción:

1985=1=15736 toneladas de

cobre fino; Índice de Empleo:

1985=1=3961 personas.

Fuentes: Sernageomin, Cochilco.

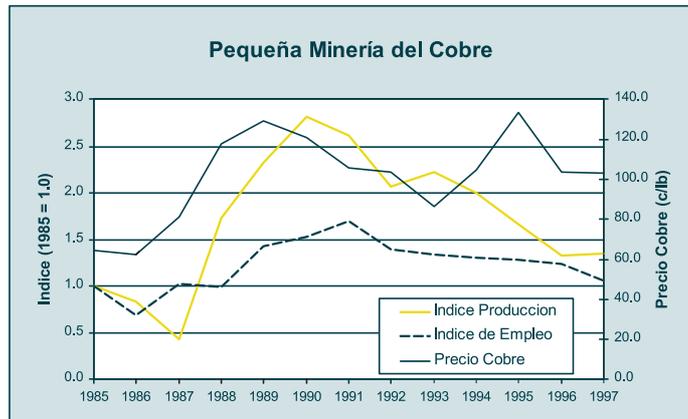
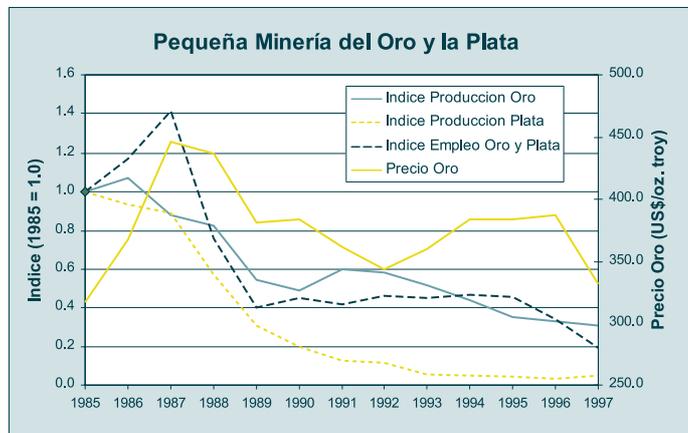


Figura 7.25

Índices de producción y empleo para pequeña minería del oro y la plata, y precio del oro. Índice Producción: 1985=1=2132 kg de oro = 65589 kg de plata; Índice de Empleo: 1985=1=8423 personas en minería del oro y la plata.

Fuentes: Sernageomin, Cochilco.



0.6 por ciento de la producción chilena de cobre, la correspondiente cifra de empleo era 11 por ciento.

Se observa que hay una fuerte correlación entre el comportamiento del precio del cobre y el empleo en la pequeña minería del cobre hasta el año 1992. Sin embargo, el alza de precios en los años 94 y 95 no fue correspondida por un aumento de empleo y producción. La reducción continua del empleo y de la producción se debería a una reducción persistente de las reservas de este segmento (Jiménez, 1999) desde 1985. Desde esta perspectiva, una política de subsidio a este sector que no considere la inversión en exploración, estaría destinada al fracaso.

La Figura 7.25 muestra los índices de producción y empleo para la pequeña minería del oro y la plata, y precio del oro. Se observa que la correlación entre la producción de oro y plata, el empleo, y el precio del oro es fuerte en el período 1985-1991. Posteriormente, el empleo y la producción del sector no reaccionaron al aumento de precio del oro observado en 1993 y 1994, y

continuaron declinando desde 1996 en adelante. Se observa también que la producción de plata declinó ininterrumpidamente desde 1985 a 1996, llegando a casi cero en este último año.

7.3 LAS ACCIONES PARA LA REGULACIÓN Y EL FOMENTO PRODUCTIVO Y PARA LA MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

7.3.1 La estructura institucional pública

Las instituciones estatales que regulan el sector minero son el Ministerio de Minería, la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), el Banco Central y el SERNAGEOMIN. Las dos empresas estatales, CODELCO y ENAMI, han desempeñado en el pasado y aún desempeñan un papel especial en el marco institucional del Estado. La Sociedad Nacional

de Minería (SONAMI, la organización empresarial de los mineros), el Instituto de Ingenieros de Minas (IIMCh) y el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) han sido instituciones importantes para el desarrollo de la minería en Chile. En 1998 se forma el Consejo Minero, organización que agrupa a las más importantes empresas del cobre y oro chileno. Esta sección resume los roles de estas instituciones.

a. Ministerio de Minería

El papel principal del Ministerio de Minería, junto con otras agencias estatales, es formular las políticas mineras y de energía de Chile y traducir estas políticas en programas de acciones concretas que se lleven a cabo principalmente a través de las instituciones mencionadas anteriormente, en conjunto con el sector privado. Las políticas de energía se han delegado a la Comisión Nacional de Energía (CNE), una agencia que tiene calidad de ministerio pero que depende, al menos formalmente, del Ministerio de Minería. El Ministerio tiene un papel regulador que se cumple mediante la elaboración y participación en la elaboración y firma de todos los Decretos Presidenciales nuevos que tienen que ver con minería. La nueva legislación sobre minería debería ser elaborada o al menos analizada y aprobada por el Ministerio antes de ser enviada al Congreso.

El Ministerio además preside los directorios de las tres compañías estatales del sector.

La Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO

Creada en 1976 por el Decreto Ley 1.349, el mismo año de la creación de CODELCO. El objetivo de COCHILCO es servir de asesor técnico especializado del Gobierno en materias relacionadas con el cobre y sus subproductos y con todas las sustancias minerales metálicas y no metálicas, con excepción del carbón y los hidrocarburos, y desempeñar funciones fiscalizadoras. Dentro de las atribuciones específicas fijadas por su ley se pueden mencionar: asesorar al Gobierno en la formulación de políticas para el desarrollo del sector minero, fomentar el desarrollo de la producción y exportación de productos manufacturados de cobre y de sus subproductos, fiscalizar el cumplimiento de las políticas generales fijadas por el Gobierno en materias relacionadas con el cobre y sus subproduc-

tos, entre otras. COCHILCO Tiene un directorio presidido por el Ministro de Minería, y formado por el Ministro de Defensa Nacional, el Jefe del Estado Mayor de la Defensa Nacional, dos representantes designados por el Consejo del Banco Central y dos representantes designados por el Presidente de la República.

Con respecto al diseño de políticas, su papel es muy amplio y, por consiguiente, está autorizado para participar en diversos aspectos del marco institucional minero. Se pone especial énfasis en la identificación y desarrollo de ideas estratégicas sobre actividades mineras. Desde el punto de vista de la reglamentación, su papel es asegurar que se cumplan las reglas que afectan la operación de las empresas mineras, sean éstas estatales o privadas. COCHILCO evalúa, junto con el Ministerio de Planificación (MIDEPLAN), la factibilidad económica y técnica de los programas y proyectos de inversión de CODELCO y ENAMI. Finalmente también supervisa, en conjunto con el Banco Central, las exportaciones de cobre.

El Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN

Creado en 1980, por Decreto Ley N°3525 y fusionó al ex-Servicio de Minas del Estado y el ex-Instituto de Investigaciones Geológicas. El objetivo del SERNAGEOMIN es realizar la investigación básica en geología; controlar la propiedad minera, es decir, los derechos de exploración y explotación minera; generar información técnica y estadística básica; y hacerse cargo de ciertas funciones ambientales tales como la salud y seguridad ocupacional y el otorgamiento de permisos de construcción y operación de instalaciones mineras relacionadas, por ejemplo, con tranques de relaves.

Codelco

Compañía estatal creada formalmente por el Decreto Ley 1350 el 1° de abril de 1976, que fusionó las minas nacionalizadas de Chuquibambilla, Exótica, El Salvador, Andina y El Teniente en un solo conglomerado. Esta compañía ha constituido la Gran Minería del Cobre desde su nacionalización en 1971, y es la compañía más grande de cobre del mundo. En 1976, entró en vigencia el Decreto Ley 1167 el cual reconoce que CODELCO pertenece al Estado de Chile.

CODELCO es presidida por el Ministro de Minería y su directorio está formado por los Ministros de Hacienda, diferentes representantes del Gobierno, las fuerzas armadas y los trabajadores. Sin embargo, el poder ejecutivo reside en el Presidente Ejecutivo, nombrado por el Presidente de la República.

ENAMI

Creada en 1960 por el Decreto Ley 153 con la fusión de la Fundación Nacional y el Banco de Crédito y Fomento de la Minería (ENAMI, 1995). La compañía pertenece al Estado de Chile y está presidida por el Ministro de Minería. Su directorio está formado por representantes del Gobierno y de la Sociedad Nacional de Minería. La función de ENAMI es apoyar a la pequeña y mediana minería del cobre y el oro en Chile. Compra minerales, precipitados y concentrados producidos por mineros pequeños y medianos y luego los procesa para producir cobre refinado y metal doré. Con este fin, ENAMI tiene varias plantas procesadoras y dos fundiciones de cobre, la fundición Hernán Videla Lira, ubicada al norte de la ciudad de Copiapó, y Ventanas, ubicada en la costa a alrededor de 40 km al norte del puerto de Valparaíso. En la actualidad, ENAMI posee cuatro plantas de beneficio entre la II y IV región..

ENAP

Se creó en 1950 mediante la Ley N° 9618. Esta ley le confiere los derechos de exploración, explotación, refinación y ventas del petróleo y sus subproductos además de desarrollar cualquier actividad que tenga relación con hidrocarburos o sus derivados, dentro o fuera del país. El rol de ENAP se revisa más profundamente en la próxima sección, al analizar la Ley sobre hidrocarburos.

7.3.2 La legislación sobre los recursos mineros y su actividad productiva

Marco general

En general los inversionistas extranjeros pueden utilizar las garantías del Decreto Ley 600, de 1974 para realizar sus inversiones. El DL 600, promulgado en 1974 (Mayorga y Montt, 1993), está basado en tres principios: trato no discriminatorio a los inversionistas extranjeros comparado con los inversionistas nacionales salvo en la obtención de créditos en entidades chilenas; libre acceso a todos los sectores de la economía; y la

intervención mínima de las autoridades en las actividades del inversionista.

Un contrato firmado entre un inversionista y la autoridad tiene carácter de contrato legal porque sólo puede ser modificado por mutuo acuerdo de las partes. El estatuto ha sido enmendado varias veces desde 1974, y la modificación más reciente fue hecha a través de la Ley 19207 (marzo de 1993) para mejorar la eficiencia para los inversionistas. El DL 600 otorga los siguientes derechos a los inversionistas extranjeros: repatriación de utilidades sin límite de tiempo, excepto que esto no se puede realizar antes del primer año después de que el dinero haya ingresado al país; el inversionista puede decidir los términos y la moneda que desea comprar para la repatriación; el inversionista puede optar a un régimen tributario invariable con una tasa real de 42 por ciento por 10 años y hasta 20 años en caso de grandes proyectos de inversión. El inversionista también está exento de pagar el impuesto al valor agregado por la importación de maquinaria y equipos no producidos en Chile e incluidos en la lista del Ministerio de Economía. El régimen tributario es el mismo para todos los inversionistas extranjeros.

Respecto a la propiedad, la constitución de 1980 establece que el Estado de Chile es el dueño exclusivo y absoluto de los yacimientos mineros, lo que ratifica el concepto expresado en la Ley 17.450 de 1971 de nacionalización de las minas de cobre. Por otra parte la Ley Minera de 1982 (Ley 18.097 publicada en el Diario Oficial el 21 de enero de 1982) tiene categoría constitucional, es decir, requiere de tres quintos del Parlamento para ser modificada. Esta Ley establece que el Estado puede otorgar un permiso o concesión de exploración o explotación a un individuo o compañía. Estas concesiones son otorgadas por los tribunales de justicia y dan derecho al poseedor del permiso de apropiarse de todos los minerales o sustancias permitidas dentro de los límites de la propiedad minera. La concesión de exploración vence después de 4 años mientras que la concesión de explotación es indefinida, siempre que se pague una patente minera anual. Estas concesiones pueden coexistir con la propiedad de la tierra.

La Ley Minera de 1982 establece además que en caso que el Estado expropié la propiedad, la indemnización se calculará sobre la base del valor presente neto de los flujos de caja futuros estimados a precios de mercado probables. Este procedimiento para estimar el valor de la indemnización es claramente diferente de lo que se estableció en

la ley de nacionalización de 1971, en que las utilidades excesivas obtenidas por las compañías expropiadas antes de 1971 fueron restadas de la indemnización total que el Estado pagó a las compañías (Lagos, 1997).

Las dos motivaciones principales de la Ley Minera de 1982 fueron aumentar la inversión extranjera en minería en el corto plazo, para así contar con más divisas para pagar la deuda externa, que en esa época era muy alta, y en el largo plazo, aumentar la capacidad exportadora de Chile, un factor considerado fundamental para el crecimiento económico futuro (Gana, 1988). La Ley Minera de 1982 pavimentó el camino para la inversión extranjera en minería otorgando las siguientes garantías a los inversionistas extranjeros: invalidar en la práctica la cláusula constitucional (Constitución de 1980) que establece que todas las minas son de la exclusiva propiedad del Estado de Chile (Gana, 1988), asegurando a las compañías mineras extranjeras la propiedad de la mina y que no ocurrirían acontecimientos tales como nuevas nacionalizaciones; un criterio de indemnización claro en caso de expropiaciones futuras; estabilidad de las reglas debido a la calidad constitucional de la ley; la libertad de las compañías para tomar decisiones relacionadas con el desarrollo de la mina y otras actividades comerciales.

La ley sobre hidrocarburos

Durante el primer gobierno de Carlos Ibañez Del Campo se promulgó la Ley 4109, que reserva en forma exclusiva para el Estado chileno la propiedad sobre todos los yacimientos de hidrocarburos existentes en el subsuelo, cualquiera fuese el dominio de los terrenos superficiales. Al año siguiente, se promulga la Ley 4217 que faculta al Presidente de la República para otorgar concesiones mineras a particulares, fuesen éstos chilenos o extranjeros. Sin embargo, en 1928, a través de la Ley 4281, se da término a la libertad en materia de concesiones mineras petrolíferas, dejando al Estado por su propia cuenta la realización de prospecciones. De esta manera, el Estado comienza con los sondajes de estudios para ver las posibilidades de encontrar yacimientos de hidrocarburos que comercialmente fueran aprovechables para la economía del país.

En 1939 se crea la Corporación de Fomento de la Producción CORFO, la que en 1943 bajo la presidencia de Juan Antonio Ríos, gestiona la contratación de la United Geophysical Company,

para comenzar los trabajos en Magallanes y las actividades de exploración sísmica en Tierra del Fuego y en el continente. En diciembre de 1945 se realiza la primera extracción de petróleo chileno desde el pozo de Springhill en la Isla grande de Tierra del Fuego, el cual se convertiría en el primer yacimiento productor de petróleo comercial de nuestro país.

En 1950 el presidente Gabriel González Videla promulgó la Ley 9618 del Ministerio de Economía en la cual en su primer artículo estipula: "El Estado tiene la propiedad absoluta, inalienable e imprescriptible de los yacimientos de petróleo en cualquier terreno en que se encuentren". En esta misma ley, se crea la ENAP. Esta ley confiere los derechos de exploración, explotación, refinación y ventas del petróleo y sus subproductos además de desarrollar cualquier actividad que tenga relación con hidrocarburos o sus derivados, dentro o fuera del país, a una Empresa Comercial dependiente de la CORFO; con personalidad jurídica autónoma del Estado, que mantendrá sus derechos y responsabilidades en el campo petrolero.

Los objetivos establecidos por la normativa vigente para ENAP son los siguientes;

- Realizar toda clase de exploraciones, ya sean geológicas, geofísicas o por cualquier otro método, tendientes a descubrir o reconocer yacimientos de petróleo.
- Efectuar perforaciones destinadas a explotar, descubrir, ubicar o explotar yacimientos petrolíferos.
- Adquirir, arrendar, construir e instalar maquinaria, equipos, campamentos, caminos y demás elementos que estime convenientes para la exploración y explotación de dichos yacimientos.
- Adquirir, arrendar, construir e instalar estanques, cañerías, vehículos, embarcaciones y, en general, toda clase de elementos necesarios para el transporte y almacenamiento del petróleo y sus derivados, sea en estado líquido o gaseoso.
- Construir, instalar, adquirir, arrendar y operar plantas para el tratamiento, transformación, refinación y aprovechamiento del petróleo, sus derivados y subproductos.
- Comprar y vender petróleo, sus derivados, subproductos, materias primas, reactivos u otras sustancias que necesite para el desarrollo de sus actividades u obtenga en ellas.

- Realizar toda clase de estudios, investigaciones, y experiencias que estime convenientes para la exploración y explotación de los yacimientos petrolíferos y para la refinación y tratamiento o aprovechamiento del petróleo, sus derivados y subproductos.
- Desarrollar cualquiera actividad industrial, agrícola, minera, comercial, financiera, o de cualquiera índole que convenga a la consecución de sus finalidades, sea directamente o en asociación con terceros.
- En general, ejecutar todas las operaciones y celebrar todos los actos y contratos, civiles o comerciales, o de cualquiera naturaleza, relacionados directa o indirectamente con la exploración y explotación de yacimientos petrolíferos o con la refinación, transporte, almacenamiento, aprovechamiento o venta del petróleo, sus derivados o subproductos que obtenga o adquiera en el desarrollo de sus actividades, sin ninguna limitación.

En 1981 ENAP se organiza como un holding, sus filiales son: las refinerías RPC S.A. y Petrox S.A., SIPETROL, encargada de proyectos, explotación y exploración petrolera en el extranjero; PETRO SERVICIO Corp S.A., que ofrece servicios petroleros al área latinoamericana y la Empresa Almacenadora de Combustibles Ltda., EMALCO, encargada del almacenamiento y distribución de productos, además de prestar servicios a oleoductos y arrendar terrenos y estanques a las compañías distribuidoras.

En 1982 ENAP ofrece suscribir contratos de operación para explorar y explotar petróleo con compañías privadas nacionales e internacionales en todo el territorio, excepto Magallanes. En 1983 se acuerda evaluar el potencial petrolero de Chile fuera de Magallanes, con la firma francesa BEICIP. En 1987, se selecciona a HUNT OIL para contratos de exploración en el Salar de Atacama.

En 1992 se realizan contratos de exploración y explotación de yacimientos de petróleo y gas en Colombia, Ecuador y Argentina. En 1996 se llegó a un acuerdo entre ENAP y Petro Ecuador para la exploración y explotación en la región amazónica y costa afuera ecuatoriana.

En 1998 la filial SIPETROL comienza con actividades de exploración en Brasil y Egipto; en este último país, se celebró un convenio por 4 bloques, ubicados en el norte del desierto egipcio y en el Golfo de Suez.

La legislación específica sobre el litio

En 1961 el Instituto de Investigaciones Geológicas realizó un reconocimiento preliminar del Salar de Atacama a objeto de informar sobre la posible existencia de sales en las salmueras de dicho Salar. En 1974 se crea el Comité de Sales Mixtas de CORFO con objeto de impulsar el desarrollo de la industria química en el Norte Grande, incluyendo también proyectos tendientes a mejorar la situación competitiva de la industria salitrera. Entre los años 1975 y 1979, mientras la Compañía Foote Minerals de los Estados Unidos, desarrollaba estudios técnicos para evaluar la extracción del litio del Salar de Atacama, se perfeccionaron los términos de un convenio entre el Estado y dicha empresa. Participó la Comisión Chilena de Energía Nuclear debido al interés nuclear asignado al litio por la legislación chilena. Dentro de este contexto se rebajó a un tercio el monto de las patentes mineras que amparaban pertenencias mineras constituidas sobre salares. Además, al dejar de ser reservadas al Estado las sales potásicas mediante el D.L. N° 2886 (14.11.1979), se validaron las 32.768 pertenencias mineras (163.840 hás.) mensuradas por CORFO en el Salar de Atacama.

El mismo Decreto Ley N° 2886 reservó el litio al Estado, exceptuando de esta disposición el litio existente en pertenencias ya constituidas sobre litio o en trámite de constitución, cuya manifestación hubiese sido inscrita antes del 1° de Enero de 1979, condición en que se encontraban las pertenencias de propiedad de CORFO en el Salar de Atacama. Asimismo, el referido cuerpo legal otorga a la Comisión Chilena de Energía Nuclear la facultad para autorizar toda clase de contratos o actos jurídicos en relación al litio o sus compuestos extraídos en el país, lo que básicamente significa que dicho organismo controla la comercialización de este elemento.

En relación a la legislación minera vigente sobre el litio, la ley Orgánica Constitucional sobre concesiones mineras (N° 18.097 de 21.01.82) y el nuevo Código de Minería (Ley N° 18.248 de 14.10.83) conciliaron lo dispuesto por el D.L. N° 2886, estableciendo que el litio no es susceptible de concesión minera. Sin embargo, se exceptúan de esta disposición aquellos yacimientos de litio con concesiones mineras válidamente constituidas en fecha anterior a la declaración de no concesibilidad o de importancia para la seguridad nacional, correspondiendo esta situación a los depósitos de litio existentes en el Salar de Atacama y Salar

Cuadro 7.8

Metas de emisión comprometidas en los planes de descontaminación (emisiones expresadas en toneladas anuales de Azufre)

FUNDICIÓN	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Chuquicamata	252.000	234.000	198.000	198.000	198.000	162.000	
Paipote			39.900	39.900	39.900	30.000	20.000
Ventanas		62.000	62.000	62.000	62.000	45.000	

de Pedernales, que a la fecha de promulgación de la Ley N° 18.097 se encontraban totalmente en poder del Estado (CORFO y CODELCO), respectivamente).

A fines de 1979, se crea la Sociedad Chilena del Litio Ltda perteneciente a Foote Minerals de los Estados Unidos, a la que se le otorgó derechos para extraer una cantidad limitada de litio del Salar de Atacama. Dicha compañía comenzó la producción de litio en 1984. Posteriormente, SQM, filial de Soquimich, obtendría derechos para extraer una cantidad también limitada de litio del Salar de Atacama, y comenzaría su explotación en 1998.

7.3.3. Las acciones de descontaminación de áreas saturadas aledañas a fundiciones

En virtud del Decreto 185 del Ministerio de Minería, dictado en 1991, se declaran zonas saturadas a las zonas aledañas a las fundiciones de Ventanas, Chuquicamata y Paipote. Dentro de las obligaciones derivadas de la declaración de zona saturada, estas tres fundiciones debieron presentar un plan de descontaminación con objeto de que en un plazo prudente cada una disminuyera gradualmente sus emisiones de gases hasta un punto en el cual se garantice el cumplimiento de las normas de calidad de aire dispuestas para el SO₂. El nivel máximo de emisiones que garantiza el cumplimiento de la normativa de calidad del aire, se establece mediante la utilización de un modelo de dispersión de contaminantes que considera los parámetros de emisión y las características de la zona afectada, tales como la topografía, climatología, etc.

En 1992 se aprueba el plan de descontaminación de la Fundición de Ventanas, y en 1993 y 1994, se aprueban los planes de descontaminación de las fundiciones de Chuquicamata y de Paipote respectivamente. Cabe agregar que los plazos para cumplir los planes en lo que se refiere a la norma de calidad de

aire son el 31 de diciembre de 1999 para las fundiciones de Chuquicamata y Paipote, y el 30 de Junio de 1999 para la Fundición de Ventanas.

Las fundiciones de Caletones, ubicada en la mina El Teniente, y de Potrerillos, ubicada en las inmediaciones de la mina El Salvador, no serán analizadas por cuanto sus planes de descontaminación fueron aprobados recientemente (en 1998 y 1999, respectivamente) y no existen datos para analizar la reducción de sus emisiones. La fundición de Chagres no fue sometida a un plan de descontaminación ya que era la única fundición de cobre en Chile que cumplía con la norma establecida en la Resolución 1215 de 1978 del Ministerio de Salud. Finalmente, la fundición de Refimet, hoy Altonorte, comenzó sus operaciones en 1993, por lo que debió realizar un Estudio de Impacto Ambiental, comprometiéndose a cumplir con la normativa vigente.

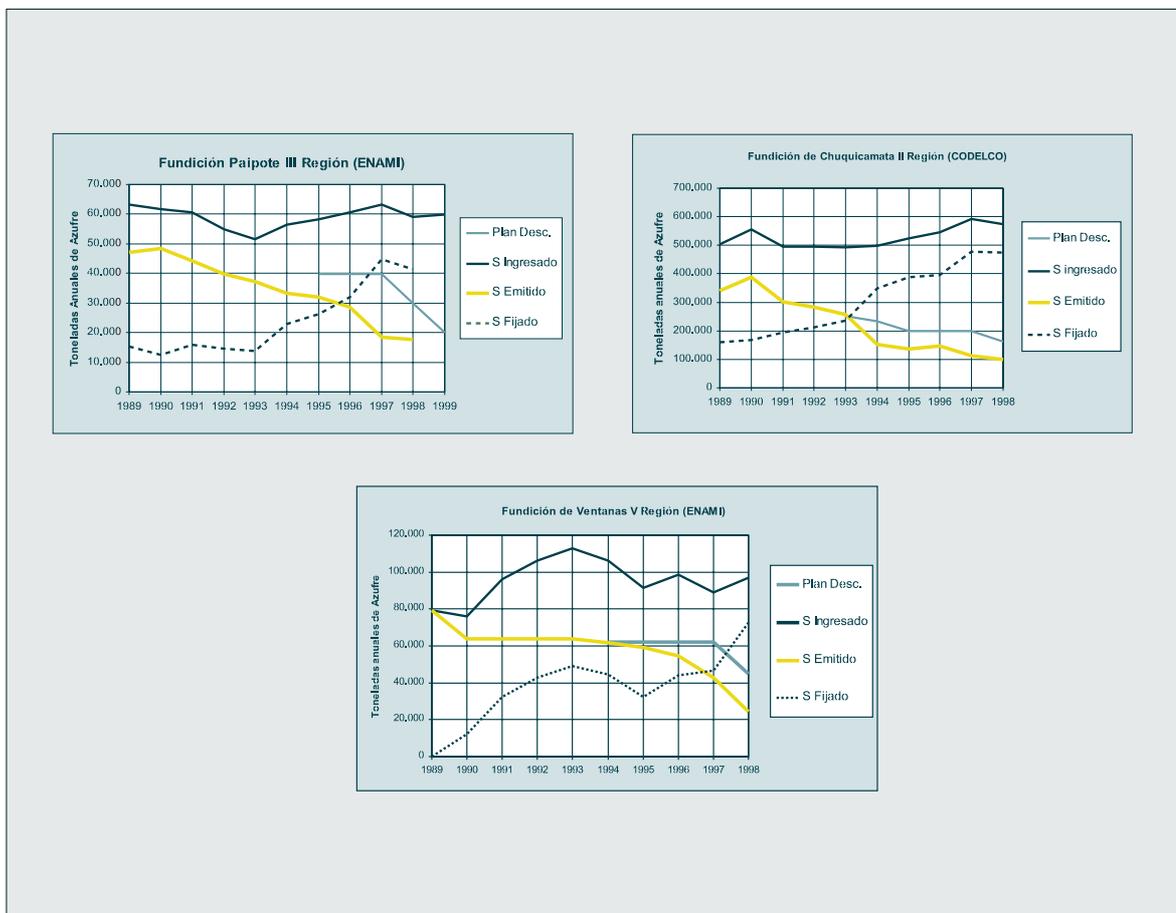
La Figura 7.26 muestra la implementación de estos planes y da cuenta de cómo estas tres fundiciones han cumplido con los planes de abatimiento.

En los tres casos se puede apreciar que el nivel de azufre emitido (según información de CONAMA, 1999) ha estado siempre por debajo del límite prometido en el Plan de Descontaminación. Los gráficos muestran también el azufre ingresado a la fusión (estimación de Lagos, 1999) y el azufre captado. Este último es la resta del azufre ingresado menos el emitido. En los tres casos la disminución de las emisiones se debe a un aumento de la capacidad de captación y posterior conversión del SO₂ en ácido sulfúrico (H₂SO₄).

El éxito o el fracaso de los planes de descontaminación se debe evaluar en último término verificando que la disminución de las emisiones induzca como consecuencia un mejoramiento en la calidad del aire en las zonas aledañas y a un cumplimiento de la normativa de calidad del aire. La figura 7.27 muestra las emisiones reportadas de cada fundición (en toneladas de S por año), la concentración promedio de SO₂ anual medido en las estaciones existentes para cada fundición, y la

Figura 7.26

Análisis del cumplimiento de los planes de descontaminación de las fundiciones: Paipote, Chuquicamata y Ventanas
 Fuentes: azufre emitido, CONAMA; azufre ingresado y fijado, estimación propia



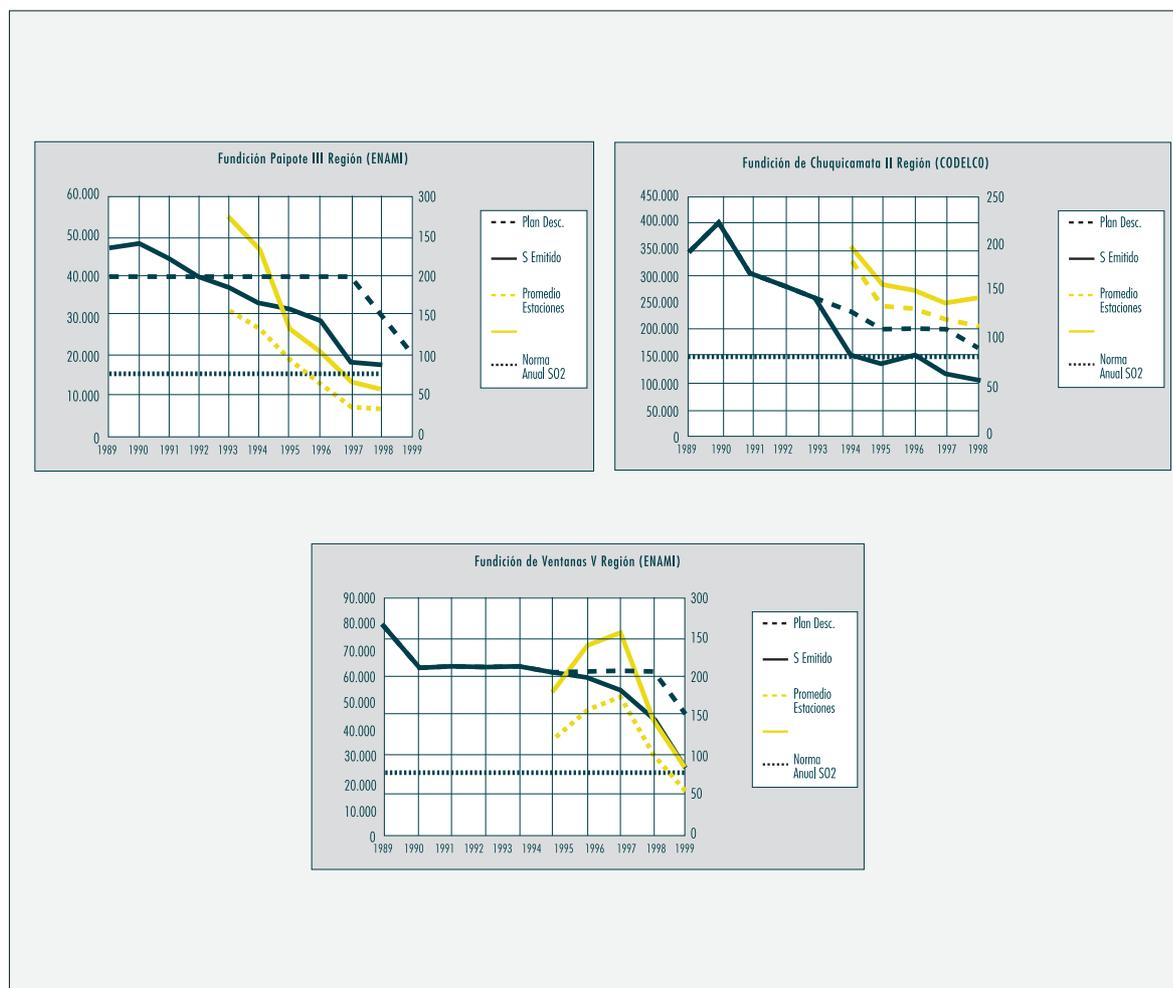
concentración de SO₂ anual máxima medida en alguna de las estaciones de monitoreo.

En el caso de la fundición de Paipote (ENAMI, III Región) se aprecia que en 1998 en la zona saturada inducida por la fundición, el promedio de la concentración media anual de las estaciones estuvo por debajo de la norma (80 mgr/m³) y en ninguna de las estaciones se superó este índice. En el mismo año la norma diaria fue excedida en dos ocasiones y la norma secundaria (horaria) en 34 ocasiones, 27 de ellas en la Estación Tierra Amarilla y 7 veces en la Estación San Fernando. Se espera que la fundición haya disminuido sus emisiones en un 33 por ciento con respecto a 1999.

En la fundición de Ventanas (ENAMI, V Región), la situación es distinta. En 1998 cuando se alcanzó el mínimo de emisiones, las que fueron casi la mitad de las emisiones comprometidas en el Plan de Descarga, las 5 estaciones de monitoreo de la calidad de aire tuvieron una media anual de SO₂ de 57 mgr/m³, sin embargo hubo una estación que detectó un nivel de 90 mgr/m³, no cumpliendo la norma. Este mismo año, la norma diaria fue excedida 8 veces y la norma secundaria, 236 veces. El Plan de Descarga debería haberse cumplido el 30 de junio de 1999. Cabe agregar que en la zona de esta fundición opera la Central Termoeléctrica de CHILGENER, la que podría haber conducido a esta situación.

Figura 7.27

Emisiones de azufre y calidad del aire en las fundiciones: Paipote, Chuquicamata, y Ventanas.



La situación más conflictiva la presenta la fundición de Chuquicamata (Codelco, II Región), la que ha cumplido consistentemente con los niveles de emisión aprobados por el plan de descontaminación, sin embargo la norma de calidad para el SO₂ sigue siendo superada. En 1998 cuando la fundición alcanzó el nivel de emisión mínimo, el que correspondía a un 38 por ciento menos de lo prometido en el Plan, el promedio de las concentración anual de SO₂ medida en las 3 estaciones existentes, fue de 114 mgr/m³, siendo la concentración máxima anual medida de 142 mgr/m³. La norma diaria fue superada 49 veces en 1998. No se reporta la norma secundaria.

Lo anterior demuestra que en el caso de la fundición de Chuquicamata el modelo de dispersión no fue adecuado para describir la situación real.

7.3.3 Inversión pública y privada en los Recursos Mineros e Hidrocarburos

La Figura 7.28 muestra la inversión extranjera en Chile y en la minería en el período 1974-1997, materializada mediante la aplicación del DL 600. La participación de la minería es de un 44,6 por ciento. Se observa que dicha participación se mantuvo en

Figura 7.28

Inversión extranjera materializada en el período 1974-1997 mediante el DL 600. Moneda en dólares de EE UU de cada año.

Fuente: Comité de Inversiones Extranjeras

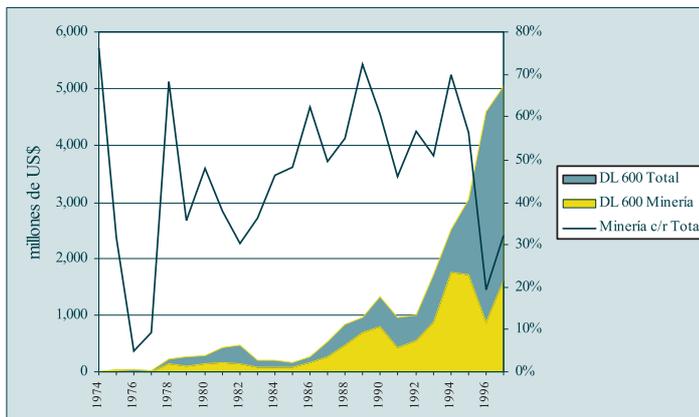
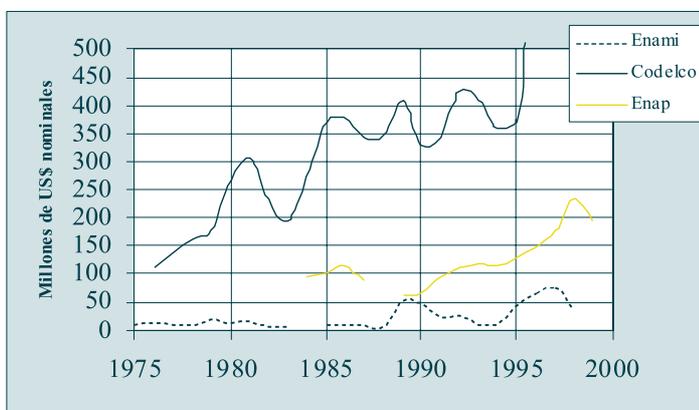


Figura 7.29

Inversión de Codelco, ENAP y ENAMI (dólares nominales de los EEUU)



un promedio de cerca del 60 por ciento en el período 1986-1994, y que con posterioridad bajó a niveles del orden del 30 por ciento, en moneda nominal de cada año.

La Figura 7.29 muestra la inversión, en dólares nominales, de CODELCO, ENAP y ENAMI en el período 1975-1998. No hay información respecto a la inversión de ENAMI en los años 1978, 1981, y desde el 1984 al 1988. Se aprecia que la inversión de ENAMI aumentó desde 1995 en adelante debido a la modernización requerida por los Planes de Descontaminación que debieron cumplir las Fundiciones de Hernán Videla Lira y de Ventanas. CODELCO aumenta considerablemente la inversión en los años 96 (712 US\$ millones) y 97 (872 US\$ millones) debido a la construcción de la Mina Radomiro Tomic. En 1998 la alta inversión de CODELCO continuó (675 US\$ millones), debido a la expansión de la División Andina.

7.4 PERSPECTIVAS

El cobre se ha mantenido siempre como la principal exportación del país y de la minería,

atrayendo las mayores inversiones extranjeras desde la promulgación del Decreto Ley 600. Las exportaciones del cobre han variado entre 35 y 50 por ciento con respecto a las exportaciones totales desde 1980, dependiendo del precio. Ello ha ocurrido debido al notable aumento de la producción de cobre durante la década de los 90, y a pesar que las exportaciones totales de Chile han aumentado casi tres veces, en términos nominales, desde 1980. En términos de producción, el oro, la plata, el litio, el cobre, el molibdeno y el yodo han sido los productos con mayor crecimiento en el período 1980-1998. El yodo (40 por ciento), el litio (35 por ciento), y el cobre (30 por ciento) eran los productos mineros chilenos con mayor participación a nivel de la producción mundial en 1998. El carbón, el petróleo, y el gas natural han disminuido su producción en forma muy importante en el período considerado. Finalmente, los nitratos y el hierro han mantenido la producción al menos desde el año 1985.

Las reservas de cobre de Chile aumentaron en el período 1985 a 1994 debido a la alta inversión en exploración y al progreso de la tecnología. Se estima que Chile, durante la década de los 90 tuvo

la mayor inversión en exploración en el mundo por kilómetro cuadrado de territorio. En términos absolutos, Chile mantuvo durante dicha década el primer lugar en la exploración de minerales en Latinoamérica. La vida útil de la minería del cobre chilena, medida en términos de los recursos totales, se mantuvo en cerca de 130 años entre 1985 y 1994, años en que existe información confiable sobre reservas y recursos minerales para el conjunto de la minería del cobre. Ello ilustra que el concepto de agotamiento de los recursos es relativo, ya que a pesar del aumento de la producción chilena, sus recursos minerales han aumentado. En el caso del oro se observó también un aumento absoluto de los recursos y reservas, y su horizonte o vida útil en 1994 se estimaba en 15 años. Tradicionalmente la vida útil de las minas de oro ha sido menor que las de otros minerales. En el caso del carbón se observa una situación aparentemente paradójica, ya que a pesar del aumento de reservas y recursos entre 1985 y 1994, la producción se redujo prácticamente a cero (con posterioridad), debido a que la calidad de dichos recursos no permitía explotar el carbón económicamente. En el caso del litio, no hubo información pública sobre aumento de reservas y recursos desde fines de los 80. Sin embargo, con las reservas chilenas conocidas, todas ellas en el Salar de Atacama, la vida útil en 1996 se estimó en 1130 años, manteniendo la producción chilena constante. Finalmente, no hay información oficial sobre las reservas de petróleo chileno (de ENAP), pero los datos de demanda interna y de producción permiten deducir que las reservas son mínimas y que ellas no permitirían revertir la declinación de la producción de petróleo chileno.

Existe información fragmentada sobre los impactos ambientales de la minería, y no se ha realizado una evaluación cuantitativa para determinar su importancia absoluta o relativa sobre el medio ambiente. En algunas áreas se produjeron avances importantes en la protección ambiental durante los 90. Cinco de las siete fundiciones de cobre están sometidas a planes de descontaminación. Tres de ellas, Chuquicamata, Hernán Videla Lira y Ventanas, terminaron dichos planes, cumpliendo con los compromisos de emisión adquiridos. El cumplimiento esperado con las normas de calidad del aire no se cumplió en dos de estas fundiciones, por lo que deberían estudiarse las medidas necesarias para que dichas normas sean cumplidas en el futuro. Las fundiciones de Caletones y Potrerillos terminarán los planes de descontaminación en los próximos años. Las fundiciones de Chagres y Altonorte, que no

fueron sometidas a planes de descontaminación, deberían cumplir en la actualidad con las normas de calidad del aire, de acuerdo a las emisiones reportadas.

Otro avance de gran importancia fue la aplicación, primero voluntaria y posteriormente obligatoria, de estudios de impacto ambiental en todos los nuevos proyectos mineros chilenos, excepto aquellos de la pequeña minería.

El aumento de producción minera ha llevado a un mayor uso de agua, especialmente en el norte de Chile, en regiones en que el agua es escasa. El crecimiento de la producción minera en el futuro debería estar asociado al descubrimiento de nuevas fuentes de aguas subterráneas, a un mayor reciclaje, o a la utilización de agua de mar.

Respecto a la calidad del agua, los datos disponibles son pobres en general, ya sea en cuanto a metodologías de medición, como en cuanto al número de especies medidas. Se sabe muy poco respecto a los efectos de la minería en las aguas subterráneas. Respecto a los efectos en aguas superficiales, se sabe que la minería contamina las aguas de un número significativo de los ríos chilenos con algunos metales, aunque la mayor parte de la contaminación se produce mediante especies insolubles metálicas, las que no producen efectos en los organismos vivos. Las crecidas de ríos han producido cuantiosos daños en la tercera y cuarta región debido al arrastre de depósitos mineros abandonados (relaves, estériles, ripios) y la consiguiente contaminación de cursos de agua.

Se estima que algunos de los desafíos más importantes para la minería en relación al medio ambiente serán:

- enfrentar el cumplimiento de las normas ambientales vigentes para aquellas faenas mineras que operaban antes de 1990 y las que no realizaron Estudios de Impacto Ambiental aún hasta la actualidad.
- remediar la situación de aquellas faenas mineras abandonadas que pudieran constituir alto riesgo en el futuro.
- Elaborar una normativa realista para el cierre de faenas mineras, que pueda abordar los problemas de la pequeña, mediana y gran minería en forma eficaz para el medio ambiente y para el desarrollo de la minería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Central, 1997. Cuantificación de los principales recursos minerales de Chile, 1985-1994, Elaborado por Banco Central y Servicio Nacional de Geología y Minería.
- CNE, 1998. Balance Nacional de Energía 1970-1997, Comisión Nacional de Energía.
- Codelco, 1990, "Manual de Estadísticas Básicas", Corporación Nacional del Cobre de Chile.
- CODELCO 1990. Manual de Estadísticas básicas. Corporación Nacional del Cobre.
- DGA, 1996. Análisis uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile. Dirección General de Aguas.
- ENAMI, 1995. Memoria Anual, Empresa Nacional de Minería, Santiago, Chile.
- Evans R.K., 1978. Lithium Reserves and Resources, Energy Vol 3, No 3, pp 379.
- Gana J., 1998. Distintas visiones sobre política minera en Chile, Cuadernos de CESCO, Agosto, Santiago, Chile.
- Haigh, M. and Kingsnorth, D.J., 1989. The Lithium Minerals Industry, Glass.
- Jiménez, S. 1999. "Entrevista al Ministro Sergio Jiménez" El Mercurio, 27 de septiembre, página C-9, Santiago, Chile.
- Lagos, G. 1986. El Litio, un nuevo recurso para Chile, Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Lagos G., 1997. Developing National Mining Policies in Chile: 1974-1996, Resources Policy, Vol 23, NO 1/2, pp 51-69.
- Lagos, G. 1999. Estimaciones personales.
- Mayorga y Montt, 1993. Inversión Extranjera en Chile, Editorial Jurídica, Santiago, Chile.
- Roskill, 1999. Roskill Information Services, Londres, Inglaterra
- SERNAGEOMIN, 1989. Levantamiento Catastral de los Tranques de Relave en Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile.
- SGA, 1998. Cuantificación y Caracterización de los Residuos Mineros Masivos en Chile, SGA Ibersis S.A.
- USBM, 1986. Mineral Commodities Summary, U.S. Bureau of Mines.
- USBM, 1986 b. Lithium availability - Market Economy countries, information circular 9102.
- USBM, 1999, Mineral Commodities Summary, U.S. Bureau of Mines.

CITAS

- ¹ Un recurso mineral se define como la presencia identificada o probable de un mineral en la tierra. Los recursos pueden ser permanentemente re-evaluados a la luz de nuevo conocimiento geológico, progresos en la ciencia y tecnología, y cambios en la situación económica y política. Es decir puede re-evaluarse la presencia física del mineral y la factibilidad de extraerlo económicamente. La reserva mineral es la fracción del recurso que ha sido más precisamente medida y que está o estará en condiciones de ser extraída o explotada en un cierto período de tiempo.
- ² La Pequeña Minería se entiende, de acuerdo a la definición tributaria, como la actividad productora que se realiza en minas o en plantas de beneficio de minerales, cuyos dueños sean personas naturales o sociedades mineras, siempre que el capital pactado en su estatuto social no sea superior al equivalente a 70 sueldos vitales anuales, de la escala A del Departamento de Santiago, y no estén afectos a lo dispuesto en el DFL N° 251, del 20 de mayo de 1931, sobre Compañías de Seguros, Bolsas de Comercio y Sociedades Anónimas. ENAMI, por su parte, define a la Pequeña Minería como todos aquellos productores que extraen menos de 200 toneladas por día de mineral. Por último SERNAGEOMIN, clasifica a los pequeños mineros como aquellos que producen exclusivamente minerales y a los medianos mineros como aquellos que producen concentrados. A partir de 1998, SERNAGEOMIN define a la pequeña minería como aquellos productores mineros con menos de 200 mil horas hombre trabajadas durante el período de un año. Esto corresponde al trabajo promedio aproximado de menos de 80 trabajadores durante el año. Cabe agregar que esta última definición representa un tamaño mayor que las definiciones anteriores, por lo que se observa un quiebre brusco (en aumento) en el empleo de la pequeña minería del cobre en 1998. Por ello, esta cifra no ha sido incluida en los datos analizados.

Anexo 7.1

Definición de Reservas y Recursos de Cobre

Los *recursos* mineros están constituidos por el mineral total contenido en uno o varios yacimientos, parte del cual puede ser explotado con beneficio económico en la actualidad. El resto, siendo no económico, puede constituirse como mineral económicamente explotable en el futuro, como resultado del advenimiento de nuevas tecnologías, o por aumento de precios. *Reservas* son “la parte identificada del recurso mineral, con el mayor grado de factibilidad económica de extracción y razonable certeza geológica” (Manual de estadísticas básicas de Codelco, 1990). *Reservas* y *recursos* se pueden segmentar dentro del yacimiento, según su nivel de reconocimiento y posición: *reservas* o *recursos medidos* son aquellos identificados con suficiente información proveniente de sondajes, muestreos en piques, galerías subterráneas o

muestreos en zanjas en la superficie; *reservas* o *recursos indicados* son aquellos identificados por información aceptable y consistente en muestreos de zanjas en la superficie y de sondajes; *reservas* o *recursos demostradas* es la suma de *reservas* o *recursos medidos* e *indicados*; *reservas* o *recursos inferidos* son aquellos volúmenes de roca mineralizada con un contenido de metal medianamente confiable y que requiere reconocimientos adicionales; *reservas* o *recursos identificados* son la suma de las *reservas* o *recursos demostrados* e *inferidos*.

Adicionalmente puede segmentarse las *reservas* en económicas, marginales o sub-económicas. Finalmente, hay categorías adicionales de *reservas* o *recursos*, tales como hipotéticos y especulativos.

Anexo 7.2

Aspectos metodológicos para el análisis del inventario y del potencial agotamiento de recursos no renovables

Las *reservas* minerales existen sólo en la medida que se realice exploración para identificarlas y cuantificarlas. Las *reservas* adquieren un valor económico sólo cuando existe una disposición a explotarlas. Pero incluso cuando los *recursos* y *reservas* minerales de una empresa son bien conocidas, y se conocen las características físicas del yacimiento, tales como ley del mineral, porcentaje de impurezas, tonelaje, espesor, profundidad, orientación y forma del yacimiento, existe incertidumbre respecto a la recuperación final que se obtendrá (Crowson Phillip, The infinitely finite, The International Council on Metals and the Environment, Ottawa, Canada, 1992). El verdadero tamaño de un yacimiento se conoce cuando ha sido explotado.

La sola existencia no tiene un valor económico asociado. Prueba de ello es que Zaire y Zambia, que en conjunto producían más cobre que Chile a fines de la década de los 60, producen hoy un poco más que El Teniente, o 10 veces menos que Chile.

La existencia de *reservas* minerales de calidad es la base para realizar explotación futura, y por tanto para asignar un valor económico al yacimiento.

Para que esto ocurra, sin embargo, deben darse varias condiciones:

- el precio debe ser adecuado.
- debe existir una tecnología que permita producir a costos competitivos.
- el marco institucional-legal del país debe proveer la claridad, estabilidad, y garantías para permitir que las compañías materialicen las inversiones necesarias para explotar el mineral.
- debe haber mano de obra calificada o en condiciones de ser entrenada en plazos razonables. Se estima que en 1998 en Chile el trabajador promedio de la minería del cobre tenía a su cargo instalaciones o equipos valuados en aproximadamente 500 mil dólares.

En esta sección se analiza la relación que existe entre las *reservas* mineras y la exploración, el precio, y la tecnología de explotación. Se discute también el uso de las *reservas* para estimar la vida útil de una mina y la fracción de las *reservas* que se transforma en producto.

Exploración y reservas

La exploración de minerales es realizada en su inmensa mayoría por compañías multinacionales, es cara y de alto riesgo, pero las recompensas son también altas. Típicamente la exploración es altamente sensible al precio de los metales y a la percepción de rentabilidad. Por ello esta aumenta cuando existen booms tales como el del cobre chileno iniciado en la segunda mitad de los años 80, con la construcción de la mina Escondida, y que ha llevado a Chile a incrementar su producción de cobre en un 278% entre 1990 y el año 2000. Lo mismo ocurrió a nivel mundial con el boom del Uranio en los años 1940 a 1950, y con la fiebre del oro durante la mayor parte de los 80. La exploración es también sensible a las condiciones políticas, como se evidenció en América Latina, África y Asia durante las décadas de los 60 y 70, en donde la exploración se redujo debido a los nacionalismos que llevaron a la expropiación de diversos yacimientos de recursos no renovables.

Sin exploración no pueden aumentar las reservas o recursos minerales. De aquí que el crecimiento o reducción de las reservas y recursos minerales no puede ser analizada sin referencia a la exploración. Una compañía puede tener las mismas reservas, medidas en términos de horizonte de vida de una mina, durante años, sin que ello tenga un significado específico. Tal fue el caso de las reservas de níquel de la compañía Canadiense Inco, quien durante medio siglo informó reservas estimadas en 30 años de explotación. En la década de los 90, la información sobre reservas se ha transformado en más importante debido a que muchas de las compañías mineras transnacionales han sido objeto de operaciones de fusión y adquisición y su valor ha dependido en forma importante de sus reservas de minerales.

La exploración puede estar orientada a mejorar el conocimiento de una mina en explotación o de un yacimiento conocido, o a descubrir nuevos yacimientos. En cuanto a lo primero, existe una relación clara entre el nivel de inversión en exploración y el conocimiento de las reservas y recursos, como lo muestra la Figura 7.2. En dicha Figura los aumentos puntuales de inversión de 1982 y 1985, se asocian a los descubrimientos de El Hueso (yacimiento de oro) y de Altamira (yacimiento de cobre). La inversión mostrada corresponde al total asignado por Codelco, y puede ser segmentada de

acuerdo a la clasificación del Metals Economic Group, Vancouver, Canadá, en: proyectos “grass-roots” o semilla, proyectos en etapa hasta factibilidad, y en sitios de minas existentes. La asignación de Codelco a estos tres tipos de proyectos ha variado fuertemente de un año a otro, de acuerdo a las necesidades específicas del momento. En 1992, por ejemplo, la asignación a estos tres tipos de proyectos se distribuyó casi uniformemente, en 1993 el 74.3% fue destinado a proyectos en etapa hasta factibilidad (posiblemente Radomiro Tomic y El Abra), mientras que en 1998 la distribución fue 67,6% a proyectos semilla, 23,8% a proyectos hasta la etapa de factibilidad, y el 8,5% restante a las minas existentes. Lo anterior sugiere que a principios de los 90 había un fuerte énfasis en conocer mejor los recursos mineros que poseían los actuales yacimientos, y por ende, que se pensaba que estos no eran suficientemente conocidos. Sugiere también, que en la actualidad Codelco estima que el conocimiento de sus yacimientos conocidos, incluidos los que están en explotación, es adecuado, y que el énfasis debe ser colocado en descubrir nuevos yacimientos.

La totalidad de las inversiones de Codelco han estado destinadas a metales base, específicamente cobre, mientras que una fracción, aún pequeña, ha sido destinada a buscar nuevos yacimientos fuera de Chile. En 1998 Codelco se ubicó en el número 40 entre las compañías mineras del mundo en cuanto a inversión en exploración. La empresa con un presupuesto más alto, también en 1998, fue la BHP de Australia con un gasto 8,2 veces mayor que el de Codelco.

El desarrollo de la tecnología de exploración está muy relacionada con las reservas. Específicamente, las nuevas tecnologías de exploración tuvieron un fuerte efecto en descubrimientos realizados en los últimos años. Por ejemplo, es posible ahora descubrir yacimientos que antes habría sido imposible incluso conjeturar que existían. Es el caso del descubrimiento de Escondida y Ujina (este último es uno de los tres yacimientos de la empresa Doña Inés de Collahuasi) en Chile durante los 80 y 90, los que se hayan “escondidos”, es decir que no afloran a la superficie, pero que es posible inferir su presencia debido a la existencia de nuevos modelos geológicos y a la existencia de nuevas técnicas de exploración remotas. La demostración de reservas sólo puede lograrse, sin embargo, mediante la perforación y muestreo de las rocas u otros materiales.

Horizonte de vida de una mina

La relación entre las reservas minerales y su horizonte de vida de acuerdo a los ritmos de explotación actual se ha denominado reservas estáticas, mientras que la relación entre las reservas mundiales de minerales y su demanda proyectada en el mercado mundial es un indicador que se ha denominado dinámico (Crowson. P., 1992, *The infinitely finite*, The International Council on Metals and the Environment, Ottawa, Canada). Los indicadores de reservas estáticas y dinámicas pueden ser usados con las debidas precauciones.

Reservas y plan de explotación

Las reservas y recursos no pueden ser analizadas solamente como números. Chuquicamata, por ejemplo, tenía en 1997 teóricamente recursos identificados suficientes para 65 años de explotación al ritmo de dicho año, y sus reservas demostradas alcanzarían para 20 años. Sin embargo, una parte significativa de su producción son óxidos provenientes de la mina Sur o Exótica, la que tenía reservas para aproximadamente 5 años. Incluso la mina principal (sulfuros) en Chuquicamata, deberá re-evaluar su plan de explotación a cielo abierto cuando el rajo sea demasiado profundo, incluyendo entre las opciones analizadas, la explotación subterránea. En el caso de la División Andina, la que tiene recursos identificados para 150 años de explotación al ritmo actual (aproximadamente 240 mil toneladas anuales de cobre contenido), también deberá re-analizar su método de explotación subterránea en 25 años más, con los consiguientes efectos para sus costos. De lo anterior se deduce que la tecnología de explotación tiene una importancia fundamental en la competitividad futura de los recursos y reservas actualmente conocidos. Son raros los casos en que hay certidumbre desde el punto de vista tecnológico, cuando se analiza la explotación de un yacimiento a más de 20 ó 25 años plazo. Incluso El Teniente, con recursos identificados suficientes para 217 años de explotación al ritmo de 1997, deberá una parte fundamental de su producción futura a las tecnologías que puedan desarrollarse para garantizar la seguridad de los trabajadores y la subsistencia del recurso mismo, ante las explosiones de roca.

Desde reserva a producto

No todos los recursos demostrados se transforman en definitiva, en cobre. Según un estudio

realizado en 1996 por la Gerencia de Exploraciones de Codelco, sólo el 51% de sus recursos demostrados se transforma en reservas base demostradas (el resto queda a la espera de nuevas tecnologías de extracción), un 90% de estas llega a las unidades de explotación de las minas (el resto se considera no "minable" de acuerdo a tecnologías actuales), un 90% de esta última se recupera en la mina (el resto se pierde en pilares, etc.), y un 83% de esta última se recupera en la planta (el resto son pérdidas que van a los relaves, ripios, escorias, polvos de fundición, y otros residuos mineros). Una fracción de esto último se recupera, aunque no hay cifras disponibles. En total, sólo un 34% de los recursos demostrados se transforma en cobre. Y si se considera que estos constituyen en promedio el 46,5% de los recursos identificados de Codelco entre 1992 y 1997, el 15,8% de estos llega hasta cátodo.

Reservas y tecnología

En la medida que emergen nuevas tecnologías de extracción y procesamiento, y que estas están disponibles, las reservas mineras aumentan, se pueden explotar minas con leyes de cobre inferiores, sin que ello signifique un aumento en los costos de operación.

La Figura A muestra la ley media del mineral de Codelco para cada año del período y los costos de operación, en moneda de 1997. Se observa que a pesar que la ley media del mineral se redujo en este periodo en un 32 por ciento, los recursos mineros aumentaron en un 160 por ciento.

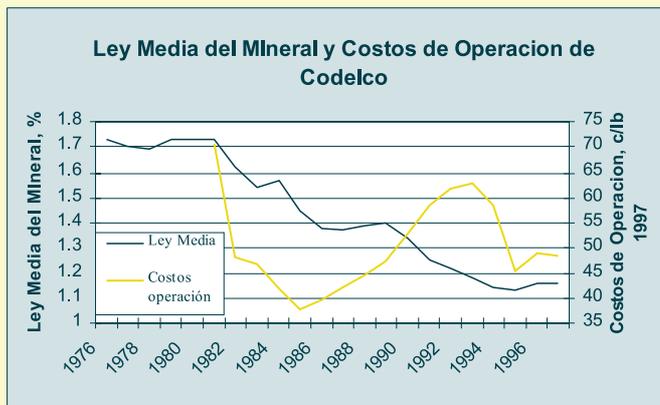
La Figura A indica que los costos, si bien aumentaron en cerca de 2/3 entre 1986 y 1994, posteriormente bajaron a los niveles que tenían en 1983 a 1985, en términos reales. Entre los factores más importantes que han afectado los costos de operación¹ de Codelco en los últimos 25 años, se cuentan la tasa de cambio, la productividad laboral, la tecnología de extracción y procesamiento, el precio de los subproductos, y la gestión. En 1982, por ejemplo, los costos de operación eran de más de 70 ¢/lb, debido a la artificial valorización del peso, y en 1983 estos cayeron prácticamente a la mitad, debido fundamentalmente, a la devaluación. La caída de los costos desde 1995 en adelante se debió, en cambio, a una mejor gestión de las Divisiones, a la utilización de tecnologías más adecuadas para la explotación, en el caso de Chuquicamata, y al alto precio del Molibdeno,

Figura A

Ley media del mineral y costos de operación de Codelco.

Se descuentan créditos por subproductos pero no se incluye el costo hasta cátodo para toda la producción.

Fuente: Codelco Chile



importante sub-producto de Codelco. Es decir, las mayores fluctuaciones de los costos fueron independientes de la ley del mineral, o calidad de las reservas.

En términos generales, la introducción de la tecnología de extracción por solventes y electro-obtención, SX/EW, en la década de los 60 permitió explotar a costos mucho menores las reservas de óxidos de cobre y de sulfuros secundarios. Por ello, en la actualidad aproximadamente un tercio de la producción chilena se realiza por la vía del proceso SX/EW.

Otro ejemplo del efecto de la tecnología sobre las reservas se da en el caso de la mina El Teniente. En 1997 sus reservas identificadas (con una ley media de cobre de 1,24%) daban un horizonte de 124 años de vida a la mina, mientras que un siglo antes, en 1897, en carta dirigida por el ingeniero Marcos Chiapponi a William Braden por encargo de los dueños de la mina, Don Enrique Concha y Toro y Don Juan de Dios Correa, ofrecía este yacimiento en venta, el que contenía reservas estimadas en 500 mil toneladas de mineral, de los cuales había 250 mil a la vista y se infería que había al menos otros tantos no a la vista, con una ley media de 4,5% y con una posible capacidad de producción de 2000 toneladas de cobre fino anuales. El horizonte útil de la mina era de 11,3 años (Luis Hiriart, "Braden, historia de una mina", Editorial Andes, Santiago, Chile 1964). Lo mismo ocurre con otras grandes minas de cobre del mundo que comenzaron a explotarse a principios de siglo y siguen en operación en 1999, tales como Chuquicamata en Chile y Bingham Canyon en los Estados Unidos.

Reservas y precio

Las reservas de hoy pueden ser una fracción de las reservas de mañana si el precio del cobre se desploma por bajo niveles aceptables para sostener la producción primaria, tal como ocurrió con el Estaño en 1985 (S. Strauss, "Trouble in the third kingdom", Mining Journal Books Ltd, London, 1986). En el caso del cobre y de otros metales base, se argumenta que justamente por ello, existe un piso para el precio, el que no ha sido nunca reducido. En 1999 el precio del cobre llegó a estar cerca de los 0,6 US\$ por libra, con lo que algunas minas cerraron sus operaciones, entre otras una gran cantidad de minas pequeñas y algunas medianas en Chile. Específicamente cerraron sus operaciones Punta Grande en 1998 (12 mil toneladas anuales), Ojos del Salado y Las Luces en 1999 (20 mil y 10 mil toneladas anuales respectivamente), más una infinidad de minas más pequeñas, cuya producción se estima era cercana a las 8 a 10 mil toneladas anuales. En total, los cierres en Chile llegaron, aproximadamente a 50 mil toneladas de cobre fino, o un 1,4% de la producción de 1998. Esto mismo indica algo sobre la estructura de costos de la industria del cobre chileno en dicho año. Se argumentó que el precio era el más bajo alcanzado históricamente en términos reales, pero ello, si bien es correcto, ocurrió en un momento en que los costos medios de operación a nivel mundial eran también los más bajos de la historia. Por otro lado, altos precios, tales como los registrados desde 1989 a 1992, incentivan a muchas compañías a abrir nuevamente minas, y por ende a aumentar las reservas económicamente explotables.

CITAS

¹ Los costos de operación pueden definirse de diversas maneras. En este trabajo se refieren a aquellos costos que excluyen la depreciación y los costos de amortización de la deuda.

Anexo 7.3

Definición de los residuos masivos de la minería

Relaves: Estos residuos se producen en el proceso de flotación de minerales de cobre y oro. Los relaves están constituidos fundamentalmente por el mismo material presente *in-situ* en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso. Los relaves se disponen en tranques, hasta donde son conducidos en forma de pulpa (mezcla de 50% en peso de sólidos y 50% de agua). Una fracción del agua contenida en los relaves es reciclada a la planta y la otra fracción, en conjunto con los sólidos, queda almacenada en el tranque.

Escorias: Estos desechos se producen durante la etapa de fundición de los concentrados de cobre. Las escorias principalmente fijan el Fe y otros metales presentes en el concentrado, mediante la generación de compuestos estables con la sílice que se utiliza como fundente. Las escorias son retiradas desde los hornos y son dispuestas en botaderos.

Ripios: Un proceso muy utilizado en la actualidad para recuperar metales es el proceso de lixiviación. En este proceso el mineral molido, con un tamaño

aproximado de un cuarto de pulgada, se dispone formando una pila a la cual se le hace pasar un fluido lixivante (ácido sulfúrico en el caso de minerales de cobre y cianuro en el caso del oro) el cual solubiliza el metal de interés contenido en la pila. Una vez extraído el metal valioso, el mineral "agotado" que queda recibe el nombre de ripio de lixiviación o de cianuración. Los ripios pueden ser compactados y sobre ellos construirse una nueva pila o bien pueden ser removidos y dispuestos finalmente en otro sitio.

Los estériles: incluyen aquellos materiales que sólo han sido removidos del yacimiento y que en ningún momento han entrado al proceso de beneficio. Estos desechos provienen de todos aquellos sectores del yacimiento cuyo contenido de mineral valioso es muy bajo para hacer atractiva su recuperación, pero que de todas maneras es necesario remover para poder acceder a zonas más ricas del mismo. Este tipo de residuo se conoce como estéril o lastre. El estéril una vez removido del yacimiento se dispone formando las características "tortas" de estéril que rodean los yacimientos mineros.