

4. NORMATIVA AMBIENTAL INTERNACIONAL PARA LAS FUNDICIONES DE COBRE: EL CASO DE LAS NORMAS DE CALIDAD Y EMISIÓN AL AIRE

En las últimas décadas, la industria metalúrgica a nivel mundial, y en particular las fundiciones que tratan concentrados de cobre, los que se obtienen a partir de minerales sulfurados, han debido modificar sus procesos tecnológicos y adaptarse para dar cumplimiento a las nuevas regulaciones ambientales, soportando también una fuerte presión de la opinión pública.

Por ejemplo, la regulación que establece una norma de calidad del aire para anhídrido sulfuroso (SO₂) involucra una limitación a las emisiones de este contaminante y ha forzado a las fundiciones a tratar sus gases en plantas de ácido sulfúrico, donde previamente es necesario someterlos a una etapa de limpieza para remover el material particulado, el cual tiene un alto contenido de contaminantes, tales como arsénico, antimonio, mercurio, plomo, etc., los que debido a su toxicidad han recibido mucha atención en la industria metalúrgica, tanto en su neutralización, como en su adecuada disposición.

El objetivo de este capítulo es analizar las principales tendencias en materia de regulación ambiental que afectan a las fundiciones de concentrados de cobre a nivel mundial, con énfasis en los Estados Unidos, Canadá, Japón, la Unión Europea, Australia, entre otros, a fin de tener una visión a largo plazo respecto a regulaciones que pudieran enfrentar las fundiciones chilenas, considerando esto como una oportunidad de competitividad de sus productos en el acceso a mercados internacionales.

Este análisis resume las principales regulaciones ambientales de calidad del aire tanto primarias como secundarias, así como normas de emisión para SO₂, material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}), plomo, arsénico, mercurio, y otros elementos que también comienzan a regularse como el ozono, NO₂, CO, y que pudieran afectar la operación de las fundiciones de concentrados de cobre chilenas.

Asimismo, se analizan algunas iniciativas internacionales que involucran a esta industria, tales como el Protocolo de Kyoto, el Convenio de Basilea y la Convención de Estocolmo. Además, se describen algunas iniciativas llevadas a cabo por gobiernos o la industria para reducir las emisiones de estos contaminantes a la atmósfera, principalmente las emisiones de SO₂, a través del uso de la mejor tecnología disponible y se entregan datos de captación de emisiones desde varias fundiciones de cobre.

4.1 Cambios en la Protección Ambiental

Actualmente, el negocio de los metales está cada vez más influenciado por una creciente preocupación ambiental, que ha generado una mayor cantidad de regulaciones en casi todo el mundo. Además, los acuerdos comerciales entre países, así como diversas convenciones internacionales podrían incrementar las presiones por

más regulaciones. A continuación, se hace un análisis de la evolución que ha tenido la protección ambiental en la industria metalúrgica, principalmente en la forma de hacer frente a la reducción de emisiones.

4.1.1 Caracterización de emisiones

En el procesamiento pirometalúrgico de minerales sulfurados, las descargas más importantes a la atmósfera de contaminantes están relacionadas con las emisiones de anhídrido sulfuroso (SO_2) y material particulado.

Estas pueden ser clasificadas como emisiones primarias (de proceso) o fugitivas. Estas últimas se producen durante la operación de los hornos, desde las campanas, ruedas de moldeo y el movimiento de líquidos calientes en la nave. Adicionalmente, se producen emisiones fugitivas de material particulado principalmente durante el manejo de materiales y el transporte de minerales y concentrados.

La cantidad de SO_2 emitido depende de las características de los minerales a tratar – menas complejas pueden contener cobre, plomo, zinc, níquel, y otros metales – y de si las fundiciones están equipadas para capturar y convertir el anhídrido sulfuroso. Si las emisiones no son capturadas, parte del anhídrido sulfuroso emitido reacciona con vapor de agua en la atmósfera para formar ácido sulfúrico, el cual retorna a la tierra como lluvia ácida, causando efectos en el suelo, vegetación, fauna y estructuras hechas por el hombre.

Según información del Banco Mundial, las emisiones de SO_2 desde fundiciones de concentrados de cobre pueden variar desde menos de 3 a 2.000 Kg./TM de cobre producido, mientras las emisiones de material particulado pueden variar desde 0,1 a 20 Kg./TM de cobre producido.

Respecto al material particulado, sus principales constituyentes son compuestos de cobre y óxidos de hierro. Otros compuestos, tales como sulfuros, sulfatos, óxidos, cloruros y fluoruros de arsénico, antimonio, cadmio, plomo, mercurio y zinc, pueden también estar presentes. El mercurio puede también estar presente en forma metálica. A altas temperaturas, el mercurio y el arsénico pueden estar presentes en forma de vapor. Además, dioxinas y furanos pueden formarse cuando se funden materiales reciclables conteniendo plásticos y materiales orgánicos. El procesamiento de materiales reciclados o chatarra clasifica a las fundiciones como secundarias.

4.1.2 Prevención y control de la contaminación

Actualmente existe una mayor conciencia ambiental por parte de los inversionistas, quienes están solicitando que los proyectos sean ambientalmente sustentables, como una precondition para su financiamiento. Por ejemplo, una captación de azufre de 90% fue un valor aceptable en muchos países hace algunos años atrás. Sin embargo, actualmente un nivel de captación de 95% es un valor mínimo en muchos países, aunque la tendencia global de estándares más altos de recuperación de azufre no se detendrá hasta obtener valores sobre 99%.

Por otra parte, el concepto de BAT, sigla en inglés de "Mejor Tecnología Disponible", ya ha sido adoptado ampliamente en el mundo por la industria de producción de energía y a corto plazo se adoptarán determinaciones similares también en la producción de metales. Asimismo, la preocupación ya no será sólo la emisión de gases de procesos y fugitivos de SO_2 , sino también la emisión de partículas y polvos, así como la higiene en el lugar de trabajo.

Los gases de proceso conteniendo SO_2 son procesados para producir ácido sulfúrico, anhídrido sulfuroso líquido, o azufre. Un horno de fusión genera gases con concentraciones de SO_2 que varían entre 0,5% y 80%, dependiendo del proceso utilizado. Por lo tanto, es importante seleccionar un proceso que use aire enriquecido con oxígeno (o oxígeno puro) para aumentar la concentración de SO_2 del gas de proceso y reducir el volumen total de gases, permitiendo así una fijación eficiente de este elemento. Un beneficio adicional es la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Además, los hornos debieran ser encapsulados para reducir las emisiones fugitivas, y el polvo recuperado desde los equipos de control, tales como filtros de tela o precipitadores electrostáticos, debiera ser retornado al proceso, si éste lo permite. En caso contrario, el polvo recuperado debe ser tratado para asegurar la estabilidad de los contaminantes contenidos, antes de su disposición final. Los vapores de arsénico y mercurio presentes a altas temperaturas son condensados por enfriamiento del gas y luego removidos. En forma adicional, se puede requerir un sistema de remoción en húmedo.

Las fundiciones modernas que hagan uso de estas prácticas debieran tener emisiones de material particulado en el rango de 0,5-1,0 Kg./TM de cobre producido y para SO_2 de 25 Kg./TM de cobre producido. Una planta de ácido sulfúrico de doble absorción y contacto no debiera emitir más de 0,2 Kg. de SO_2 por tonelada de ácido sulfúrico producido (considerando una eficiencia de conversión de 99,7%).

En este sentido, el Grupo del Banco Mundial estipula ciertos procedimientos para el análisis de proyectos industriales incluyendo: a) una adecuada evaluación ambiental que considere la legislación nacional relevante, y b) un análisis económico que incluya una evaluación de los costos y beneficios de las medidas ambientales alternativas disponibles para una planta nueva o existente, evaluando las reducciones en la fuente y el mejoramiento en las condiciones ambientales con o sin las medidas de mitigación.

Sobre la base de estos análisis, los requerimientos sitio específicos se establecen en función de las condiciones locales y recursos disponibles, por ejemplo, límites de emisión y procedimientos de operación especiales, que permitan asegurar la protección de la salud humana y la optimización de los beneficios ambientales. Dependiendo de estas circunstancias, estos requerimientos sitio específicos serán menos o más

estrictos que aquellos publicados por el Banco Mundial en 1998, en su documento "Pollution Prevention and Abatement Handbook: Toward Cleaner Production"¹⁰.

Estas directrices promueven el concepto de desarrollo sustentable, haciendo énfasis en los beneficios ambientales y económicos de la prevención de la contaminación, incluyendo las técnicas de producción limpia y las buenas prácticas ambientales.

En el caso de las fundiciones de concentrados de cobre, los proyectos deben cumplir estándares para emisiones al aire (Tabla 9), así como niveles aceptables de ruido, que deben ser cumplidos al menos en un 95% del tiempo en que la fundición esté operando, y que se calculará como una proporción de las horas de operación anual. No se acepta la dilución de emisiones al aire o efluentes para cumplir con estas directrices.

Tabla 9

Valor Máximo para Emisiones al Aire desde Fundiciones de Cobre - Banco Mundial

Estándar	SO ₂	Arsénico	Cadmio	Cobre	Plomo	Mercurio	Material Particulado
mg/Nm ³	1.000	0,5	0,05	1	0,2	0,05	20

El Grupo del Banco Mundial que entrega asistencia en los proyectos de fundiciones opina que estos requerimientos pueden ser consistentemente logrados con un buen diseño, operación y mantención de los sistemas de control de la contaminación, particularmente "un factor clave que ayuda a cumplir con estos requerimientos es dar preferencia a procesos energéticamente eficientes y que producen altas concentraciones de SO₂", como se mencionó anteriormente.

4.1.3 Reducción de emisiones de SO₂ a nivel mundial

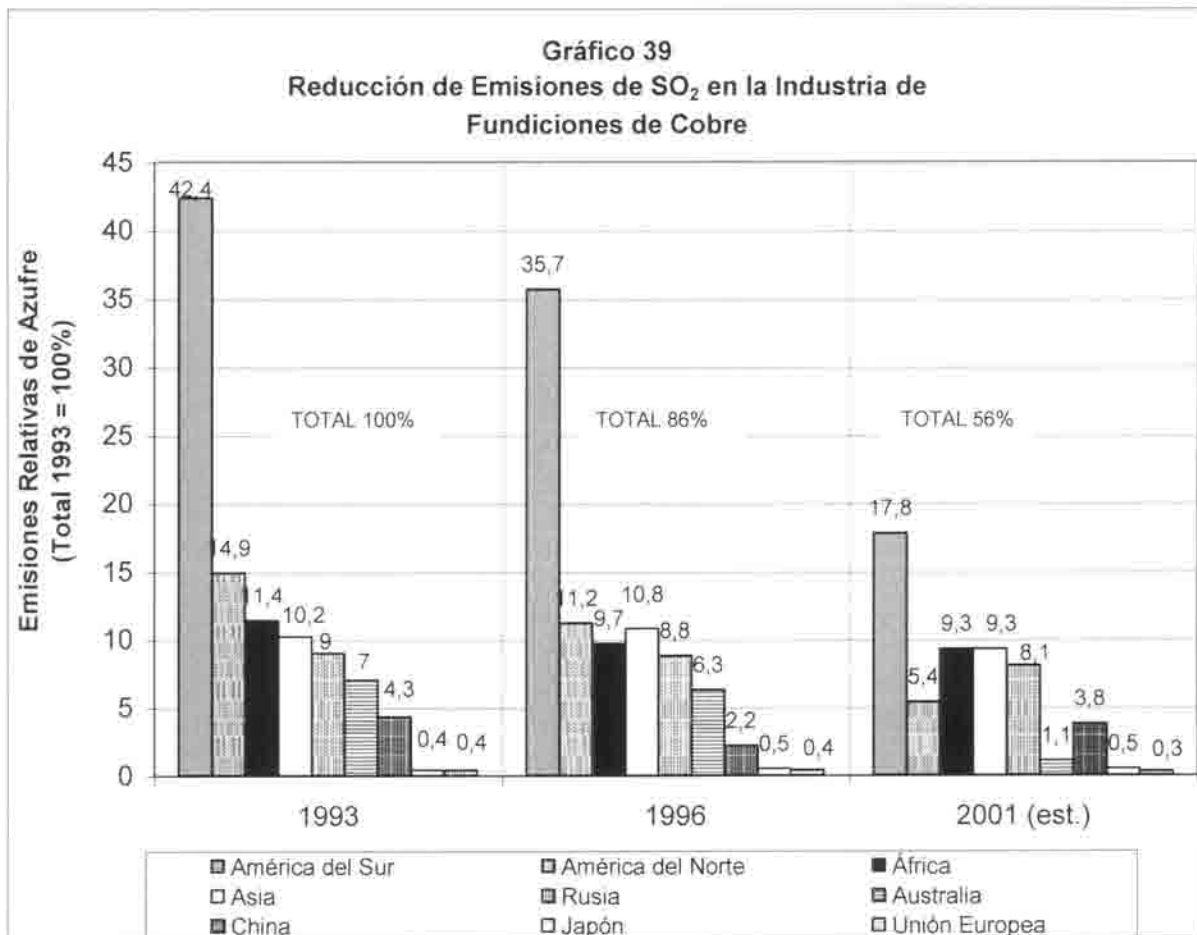
Al realizar un análisis global de la evolución del nivel de emisiones de anhídrido sulfuroso en la industria de fundiciones de concentrados de cobre, se puede observar que en casi todo el mundo éstas han decrecido fuertemente (Gráfico 39). El nivel de emisiones en Japón y en el área de la Comunidad Europea ya eran bajas a comienzos de los 90. Se estima que en los próximos años las emisiones totales de SO₂ desde los países de América del Norte y del Sur se reducirán en más de un 60% respecto de los niveles de emisión de comienzos de los 90, mientras que al mismo tiempo la producción de cobre en estos países se estima que se incrementará en más de un 20%.

Esta tendencia será aún más pronunciada en Australia. Mientras, en África, Asia y Rusia el total de emisiones de SO₂ no ha decrecido aún tan rápidamente, pero también la producción de cobre está aumentando y las emisiones unitarias están decreciendo (Hanniala y otros, 1999). Más detalles respecto a la reducción de emisiones de azufre se muestran en el Anexo 2.

¹⁰Banco Mundial, 1998.

<http://lnweb18.worldbank.org/essd/envevt.nsf/51ByDocName/CopperSmelting/FILE/HandbookCopperSmelting.pdf>

Según Hanniala y otros autores (1999), en el año 2000 el total de emisiones de SO₂ en América del Sur fue tres veces mayor que el total de emisiones de SO₂ en América del Norte, aunque la producción en América del Norte fue mayor que en América del Sur. La reducción de emisiones de SO₂ en América del Sur, y particularmente en Chile, se debió principalmente al reemplazo de los hornos reverberos por reactores tipo Teniente y la instalación de nuevas plantas de ácido sulfúrico en las fundiciones de cobre chilenas. El horno reverbero produce gases con concentraciones muy bajas de SO₂, lo cual no hace viable económicamente la producción de ácido sulfúrico.



Sin embargo, con el fin de reducir aún más las emisiones para alcanzar el nivel de América del Norte, las fundiciones de América del Sur deben considerar otros objetivos, como el reemplazo por tecnologías de conversión continua o una mayor captación de gases fugitivos (Ver Anexo 2).

Un dato importante a considerar es que hoy más del 50% del cobre primario mundial se produce utilizando la tecnología de fusión flash Outokumpu. Además, en 1996, en los Estados Unidos cerca del 60% de la producción de cobre se obtuvo con esta tecnología, mientras que en América del Sur sólo alcanzó a un 25%. Sin embargo, la

evaluación del uso de esta tecnología debe ser estudiada caso a caso por cada fundición, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales, entre otros.

4.2 Estándares Ambientales

La regulación ambiental para la industria metalúrgica ha recibido considerable atención en los últimos años. En este sentido, a continuación se analizan algunos estándares de calidad y de emisión al aire para varios países en el mundo, que poseen fundiciones de concentrado de cobre, como se muestra en la Tabla 10.

4.2.1 Estándar de calidad del aire para algunos elementos

El análisis de regulaciones ambientales para aire considera los siguientes elementos: SO₂, PM₁₀ y PM_{2,5}, Plomo, Ozono, NO₂ y CO, que son considerados dañinos para la salud pública y el medioambiente. Los países estudiados son Estados Unidos, México, Australia, Canadá y algunas de sus provincias, la Unión Europea y Japón, considerando que son países productores de metales, y tienen fundiciones de concentrado de cobre operando en su territorio. Además se incluye la normativa Suiza, por ser el referente que define nuestra legislación ambiental. Además, se incluyen regulaciones de otros elementos, de acuerdo a su implementación en algún país en particular. La evolución que ha tenido cada regulación en su país se detalla en el Anexo 1, así como otras iniciativas de regulaciones de contaminantes que pueden afectar a la industria de fundiciones de concentrados de cobre.

Es importante señalar que generalmente se establecen dos tipos de estándares de calidad del aire: a) las **normas primarias** para proteger la salud pública, incluyendo la salud de población "sensible", tales como niños asmáticos y los adultos mayores; y b) las **normas secundarias** que se establecen para proteger el bienestar público, incluyendo la protección contra la reducción de la visibilidad, daños a los animales, cultivos, vegetación y edificios, entre otros.

Si se comparan los estándares de algunos contaminantes en los diversos países, como se muestra en la Tabla 10, con los valores vigentes en Chile, se observa que el país cuenta, en varios contaminantes, con una normativa bastante similar a aquella que se aplica en países desarrollados. Este es el resultado de un proceso de revisión de las normas de calidad del aire existentes en nuestro país desde 1978 (Resolución N° 1215/78 del Ministerio de Salud; D.S. N° 185/91(Minería)) y que se desarrolló bajo la coordinación de CONAMA durante los años 2001-2002.

En el proceso de revisión se tuvieron en consideración los últimos avances en el conocimiento sobre los efectos en la salud de los contaminantes del aire, de su comportamiento físico y químico en la atmósfera y de las tecnologías de medición. Para la determinación de los valores de la norma se utilizaron, entre otros antecedentes, los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Los principales cambios que se introdujeron dicen relación con lo siguiente¹¹:

¹¹ <http://www.conama.cl/portal/1255/articulo-27788.html>

- Se reduce la norma horaria para CO, de 40 a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 115/02, SEGPRES);
- Se reemplaza la norma horaria para ozono, de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por una norma de 8 horas de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 112/02, SEGPRES);
- Se incorpora una norma horaria para NO₂ de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, además de la anual existente de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 114/02, SEGPRES);
- Se reduce la norma diaria para SO₂ de 365 a 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 113/02, SEGPRES); y
- Se deja sin efecto la norma primaria para partículas totales en suspensión (PTS) (D.S. N° 110/01, SEGPRES).

En el caso del SO₂, la Tabla 10 muestra que la regulación de la concentración de SO₂ en el aire es de fundamental importancia para los países investigados. En general, los valores más estrictos para el estándar anual y diario se establecen en Suiza y la Unión Europea. Por su parte, Japón aplica un estándar muy bajo para la norma diaria, mientras Australia aplica valores intermedios entre los más estrictos y los aplicados por Estados Unidos y Chile. Estados Unidos no ha cambiado sus valores desde 1971, pero ello obedece más a los niveles actuales del contaminante en el aire y a los grupos de riesgo, que a los efectos en salud. Por su parte, Chile redujo la norma diaria de 365 a 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2003, no obstante su cumplimiento comenzará a ser fiscalizado a contar de Abril del 2006, como promedio de 3 años.

En el caso de valores de corto plazo (1 hora), Chile tiene una norma secundaria cuyo valor es más alto que aquellos de los países analizados y que corresponden a estándares primarios, excepto en el caso de Estados Unidos. Otra observación importante es la tendencia a regular este contaminante por sus efectos agudos, vale decir en el cortísimo plazo (< 1 hora), como es el caso de Suiza.

Respecto al material particulado, Chile aplica un estándar acorde a la normativa internacional. Similar situación ocurre para el estándar de plomo. Cabe señalar, que para PM₁₀, a contar del día 1° de enero del año 2012, la norma primaria será 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para PM_{2,5}, en cuyo caso se mantendrá el valor de la norma. El material particulado de tamaño inferior a 2,5 micrones es regulado sólo en los Estados Unidos y Canadá (se cumplirá el estándar a partir del año 2010).

En el caso del ozono, la tendencia internacional es ampliar la cobertura de protección a la salud extendiendo la norma horaria a 8 h, como en el caso de Chile y Canadá. Sin embargo, Chile no tiene un estándar horario (1 hora) ni diario. Por su parte, los estándares de dióxido de nitrógeno, se asemejan a los estándares de los países analizados.

Finalmente, respecto al CO, la tendencia es regular este contaminante en diferentes períodos (24 h, 8 h, 1 h), sin embargo, no todos los países tienen estándares para los tres horarios. Las normas de Chile respecto de este contaminante son razonables y

000154

similares a las de otros países, en particular Estados Unidos, donde recientemente la EPA revisó los valores y no encontró la necesidad de hacer cambios.

Tabla 10 - Estándares de Calidad del Aire en algunos Países que poseen Fundiciones de Cobre

País	Standard	SO ₂ , µg/m ³			PM ₁₀ , µg/m ³			PM _{2.5} , µg/m ³			Pb, µg/m ³	O ₃ , µg/m ³			NO ₂ , µg/m ³			CO, ppm			
		Hora	Día	Año	Hora	Día	Año	Hora	Día	Año		Año	Día	1 h	8 h	Hora	Día	Año	Hora	8 h	Día
Estados Unidos	Primario	-	365 ^a	80 ^b	-	150	50	-	65	15	1,5 (4 m)	-	240	160	-	-	100 ^b	35 ^a	9 ^a	-	
	Secundario	1.300 (3 h)	260	60	-	150	50	-	65	15	1,5 (4 m)	-	240	160	-	-	100 ^b	-	-	-	
Canadá	Máximo deseable ^c	450	150	30	-	-	60 ^{d,e}	-	30 ^f	-	-	-	30	100	120 ^g	-	-	60	13	5	-
	Máximo aceptable	900	300	60	-	120 ^{d,e}	70 ^{d,e}	-	-	-	-	50	160	-	400	200	100	30	13	-	
	Máximo tolerable	-	800	-	-	400 ^{d,e}	-	-	-	-	-	-	300	-	1.000	300	-	-	17	-	
Québec	Máximo aceptable	1.310	288	52	-	150	70 ^h	-	-	-	2,0	-	160	-	414	207	103	30	13	-	
	Máximo aceptable	900	260	50	-	50	-	-	-	-	4 (24 h)	-	160	-	-	-	-	26	10	-	
Ontario		450	150	30	-	120 ^{d,e}	60 ^{d,e}	-	30	-	5 (24 h)	-	-	127	-	-	-	-	-	-	
Unión Europea	Primario	-	250-350 ^b	80-120	-	300 ^g	150 ^g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200 ^k	-	-	-	
	- Valor límite, 1989	350 ^b	125 ^l	20 ^l	-	50 ⁿ	40 ^o	-	-	-	0,5 ^p	-	-	120 ^q	200 ^l	-	40 ^m	-	10 ^p	-	
Australia	Primario	600 ^r	250 ^r	60	-	50 ^o	-	-	-	-	0,5	-	196 ^h	157 (4h) ^h	300 ^h	-	75	-	9 ^h	-	
Japón	Primario urbano	260	104	-	200	100	-	-	-	-	-	-	120	-	-	75-115	-	-	20	10	
	Fundiciones ¹²	q = K·10 ⁻³ ·He ²			0,04-0,7 g/Nm ³									60-950 ppm							
Suiza	Primario	100 (30 min.)	100 ^a	30 ^b	-	50 ^a	20 ^b	-	-	-	0,5 ^b	-	120 ^a	100 (½ h)	100	80 ^a	30 ^b	-	-	7,2 ^a	
México	Primario	-	365	-	-	150	-	-	-	-	-	-	-	380	-	-	-	-	13	-	
Chile	Primario	-	365 (250) ¹³	80	-	150 ¹⁴	50	-	-	-	0,5	-	-	120	400	-	100 ^b	26 ^a	9 ^a	-	
	Secundario z1-z2 ¹	1.000-700	(365-260)	(80-60)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

^a Puede ser excedido sólo una vez en el año; ^b Media aritmética; ^c Debiera no ser excedido más que 5 veces en el año; ^d Concentración media geométrica; ^e PST. Partículas suspendidas totales; ^f Zona1: regiones I, II, III, IV, V, VI, Metropolitana; Zona2: regiones VII, VIII, IX, X, XI, XII; ^g percentil 98 de todos los valores diarios a través del año; debiera no ser excedido más de 7 veces al año; ^h No puede ser excedido más de 24 veces en el año, y este valor debe ser alcanzado el 1 de enero de 2005 (CE/30/1999); ⁱ No puede ser excedido más de 3 veces en el año, y este valor debe ser alcanzado el 1 de enero de 2005 (CE/30/1999).

^j Valor límite para la protección de los ecosistemas. Que se aplica durante el año calendario e invierno (1/10 hasta el 31/03), se debía cumplirse desde el 19 de julio de 2001 (CE/30/1999).

^k percentil 98 calculado respecto de los valores medios por hora o por periodo de menos de una hora tomados a través del año.

^l No puede ser excedido más de 18 veces en el año, y este valor debe ser alcanzado el 1 de enero de 2010 (CE/30/1999).

^m No puede ser excedido, y este valor debe ser alcanzado el 1 de enero de 2010 (CE/30/1999). Además existe un estándar anual para proteger la vegetación de 30 µg/m³ NO_x, cual debía ser cumplido desde el 19 de julio de 2001.

ⁿ No puede ser excedido más de 35 veces en el año, y debe ser alcanzado el 1 de enero de 2005. Además existe una propuesta con el mismo valor, pero que no puede ser excedido más de 7 veces en el año, a ser cumplida el año 2010, la cual dependerá de los resultados de la primera propuesta, y de la revisión de información sobre efectos a la salud y el medioambiente, y de la factibilidad técnica y experiencia de la aplicación de la etapa anterior (CE/30/1999).

^o No puede ser excedido, y debe ser alcanzado el 1 de enero de 2005. Además existe una propuesta para reducir el límite a 20 µg/m³, para ser cumplida el año 2010, utilizando el mismo criterio del punto anterior.

^p No puede ser excedido y debe ser alcanzado el 1 de enero de 2005 (CE/30/1999).

^q No puede ser excedido más de 25 veces en el año y debe ser alcanzado el 1 de enero de 2010 (CE/3/2002).

^r Además para Ozono, existe una norma anual con un límite máximo aceptable de 30 µg/m³; ^s Valor a cumplir a partir del año 2010.

Fuente: Elaboración de Cochilco en base a: US EPA, CCME, 2002; CONAMA, 2000; NPCR, 1998; Ministerio de Minería de Chile, 1991; Australian National Protection Measures (Standards) for Ambient Air Quality, 1998; Ministerio de Medioambiente de Columbia Británica y Québec, 1998; Swiss Federal Commission of Air Higiene, 2000.

¹² Este estándar se aplica a cada industria que emita óxidos de azufre, entre ellas las fundiciones de cobre. Se calcula insertando el valor (K) en la ecuación, el cual es específico para cada región de Japón donde está localizada la industria, y q es el volumen horario de óxidos de azufre emitidos (Nm³/h de SO₂) y He es la altura efectiva de la chimenea (m), es decir, la suma de la altura real de la chimenea y la altura de ascenso del humo. Más detalles en Anexo III.

¹³ La norma diaria de 365 µg/m³ fue modificada por el D.S.N° 113/02 (SEGPRES) y el valor de 250 µg/m³ comenzará a ser fiscalizado a contar de Abril del 2006 como promedio de 3 años.

¹⁴ A contar del día 1° de enero del año 2012, la norma primaria de calidad del aire para PM₁₀, será 120 µg/m³ como concentración de 24 horas, salvo que a dicha fecha haya entrado en vigencia una norma de calidad ambiental para PM_{2.5}, en cuyo caso se mantendrá el valor de la norma establecido en el inciso primero.

4.2.2 Estándar de calidad del aire para arsénico

El arsénico es un elemento tóxico para la flora y fauna, y particularmente para los seres humanos debido a su carácter cancerígeno, principalmente en la forma de compuestos inorgánicos de arsénico.

Este elemento es una impureza común en concentrados sulfurados de cobre, los cuales, al ser tratados pirometalúrgicamente liberan el arsénico en forma volátil, principalmente como As_2O_3 , junto a otros contaminantes, los cuales deben ser eliminados de los gases de proceso antes de que estos pasen a la planta de ácido sulfúrico. Además, inevitablemente una pequeña porción de este elemento (ppm) pasa al producto final de la fundición (ánodo de cobre o cobre blister), afectando sus propiedades mecánicas y eléctricas.

En este sentido, agencias internacionales, federales y estatales han generado estándares de calidad del aire para varias formas de arsénico orgánico e inorgánico, como se muestra en la Tabla 11, en función de su situación natural específica.

Tabla 11
Estándar de Calidad del Aire para Arsénico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

País	Arsénico y sus compuestos			Trióxido y Peróxido de As		
	8 h	Diario	Anual	Diario	Anual	
Canadá	Ontario	-	$3,0 \times 10^{-1}$	-	-	
	Columbia Británica	-	1,0	-	-	
Estados Unidos ¹⁶	Washington	-	-	$2,3 \times 10^{-4}$	-	
	Nueva York	-	-	$6,7 \times 10^{-1}$	-	
	Montana	-	$3,9 \times 10^{-1}$	$7,0 \times 10^{-2}$	-	
	Connecticut	$5,0 \times 10^{-2}$	-	-	-	
	Virginia	-	$3,3^c$	-	-	
	Arizona	$3,2 \times 10^{-1}$ (1h)	$8,4 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
	Florida	2,0	$4,8 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-4}$	-	-
	Kansas ^b	-	-	$2,3 \times 10^{-4}$	-	-
	Michigan	-	-	$2,3 \times 10^{-4}$	-	-
	Texas	5,0 (30 min.)	-	$5,0 \times 10^{-1}$	-	-
Unión Europea	-	-	$6,0 \times 10^{-4}^a$			

Nota: los valores en Estados Unidos son para aire urbano y concentraciones aceptables

^a Debiera ser cumplido a partir del año 2010. ^b Límite de concentración para emisiones al aire peligrosas. 0,005 ton/año

^c Límite de concentración para trisulfuro de arsénico (24 horas): $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En Chile no existe un estándar de calidad del aire, sin embargo, se regula el arsénico emitido a la atmósfera desde cada fundición de cobre, a través del D.S. N° 165/99 (SEGPRES).

¹⁶ Fuente: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2-e7.pdf>

Además, para proteger la salud de los trabajadores, se ha regulado el límite de exposición permitida de arsénico en el aire en el lugar de trabajo. La Tabla 12 muestra algunos estándares en varios países.

Tabla 12
Límite de Exposición al Arsénico en Lugares de Trabajo (mg/m³)

Sustancia	Chile ^a	Estados Unidos ¹⁶			Japón	Unión Europea ¹⁷	Australia	Canadá (Ontario)
		OSHA ^c	NIOSH ^b	ACGIH ^d				
Compuestos inorgánicos	0,16	0,01	0,002	0,01	0,003	0,1	0,05	0,01
Compuestos orgánicos (como As)	-	0,5	-	0,01	-	-	-	0,01
Arsina, AsH₃	0,13	0,2	0,002	0,2	0,32	0,2	0,16	0,2

^a Límite permisible ponderado, D. S. N° 594/99 (Salud) para arsina y D.S. N° 201/01 (Salud) para arsénico y compuestos solubles, durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 48 horas semanales.

^b NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health; determinado por un período de muestra de 15 minutos (Valor Recomendado)

^c OSHA: Occupational Safety and Health Standards, Límite de Exposición Permisible para una concentración promedio de 8 horas de trabajo diaria o para una semana de 40 horas de trabajo.

^d ACGIH: American Conference of Governmental and Industrial Hygienists, Valor Límite Umbral a la cual los trabajadores pueden estar expuestos sin efectos adversos.

4.3 Iniciativas Internacionales

4.3.1 Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático – Protocolo de Kyoto

Esta Convención surgió a raíz de la preocupación expresada en la década de los ochenta por científicos de todo el mundo, acerca de que las emisiones de gases de efecto invernadero estaban aumentando, como consecuencia de las actividades antropogénicas¹⁶. Entró en vigor a nivel mundial el 21 de marzo de 1994 y el 13 de abril de 1995 en nuestro país.

El objetivo de la Convención, y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes, es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Para los países industrializados, la Convención estableció compromisos de reducción, con el año base 1990 como referencia de emisiones, y a su vez, instaba a estos países a proveer fondos para que los países menos desarrollados implementaran sus compromisos. Sin embargo, durante la primera reunión de la Conferencia de las Partes (Berlín, 1995), los países concordaron que el cumplimiento de dichos compromisos era insuficiente hasta esa

¹⁶ En Estados Unidos, OSHA es la Agencia Oficial que regula los estándares, sin embargo, NIOSH y ACGIH pueden entregar recomendaciones. Fuente: International Chemical Safety Card. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0013.html>

¹⁷ En 2000, la UE estableció la directiva N° 39 sobre Límites de Exposición Ocupacional para 63 agentes, la cual no incluye al arsénico. Por lo tanto, cada país miembro aplica su propia legislación. Nota: los valores de la UE corresponden al Reino Unido.

¹⁸ Aparte de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O), los países que son parte de la Convención de Cambio Climático deben evaluar las emisiones de los precursores de gases invernadero, tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles sin metano (NMVOC), y de aerosoles como el anhídrido sulfuroso (SO₂).

fecha, ya que muchos países desarrollados no iban a poder cumplir las metas de reducción planteadas para el año 2000.

Así, en diciembre de 1997 se adopta el protocolo de Kyoto, como un instrumento legalmente vinculante, cuyo aspecto sobresaliente es el establecimiento de compromisos más estrictos de reducción y limitación de emisiones de gases efecto invernadero, con un calendario determinado para cumplir dichos compromisos. El acuerdo principal fue alcanzar la reducción conjunta de las emisiones de GEI¹⁹ – al menos en un 5% bajo los niveles existentes al año 1990 – para el período 2008-2012 (expresadas como emisiones de CO₂ equivalentes). En 1990, el total de emisiones alcanzaba a 13.730 millones de TM, donde los mayores países emisores eran: Estados Unidos con un 36,1% del total, los estados miembros de la UE con un 23,7%, la Federación Rusa con 17,4%, Japón con 8,5%, Canadá con 3,3%, Polonia con 3% y Australia con 2,1%²⁰. Cabe señalar que Chile, como país en vías de desarrollo no tiene compromisos de reducción de emisiones.

Entre los compromisos individuales destacan: una reducción individual de 8% para Suiza, países de Europa Central y del Este y la Unión Europea (quien ha distribuido diferentes tasas entre sus estados miembros); 6% para Canadá, Hungría, Japón y Polonia. Rusia, Nueva Zelanda y Ucrania deben estabilizar sus emisiones, mientras Noruega puede aumentar sus emisiones en un 1%, Islandia en 10% y Australia en un 8%. Por su parte, Estados Unidos debe reducir sus emisiones en un 6%.

El Protocolo de Kyoto está abierto para su firma desde marzo de 1998, y entrará en vigor a nivel mundial cuando se cumplan dos condiciones: a) la ratificación de 55 países de la Convención, ya cumplido; y b) los países que ratifiquen deben incluir los países desarrollados que den cuenta al menos del 55% de las emisiones de CO₂ en el año base 1990. A Julio de 2003, se han obtenido 111 ratificaciones, lo que da cuenta del 44,2% de las emisiones de CO₂.

En Junio de 1998 Chile firmó el Protocolo, lo que implica que reconoce la validez de los principios, objetivos y compromisos de este instrumento legal, y en Agosto de 2002 fue ratificado en el Congreso. Japón y los Estados Miembros de la Unión Europa han ratificado el Protocolo, no así Rusia y una media docena de pequeños países industrializados y países con economías en transición, aunque esto no es suficiente para alcanzar la meta de 55%. Australia y Estados Unidos han declarado que no ratificarán el Protocolo²¹. Por su parte, Canadá ha ratificado el Protocolo. Su impacto para la industria minera canadiense se resume en el Anexo 3²².

¹⁹ El protocolo de Kyoto controla una canasta de seis gases: CO, CH₄ y N₂O con año base 1990, y perfluorocarbonos (PFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆) con año base 1995.

²⁰ Emisiones desde las Partes (Anexo 1): <http://unfccc.int/resource/kpco2.pdf>

²¹ Fuente: UNFCCC, "Kyoto Protocol receives 100th", <http://unfccc.int/press/rel2002/pressrel181202.pdf>

²² Ver Status de Ratificación: <http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>

4.3.2 Convenio de Basilea²³

Este Convenio, firmado por varios países y la Unión Europea en 1989, bajo el alero del Programa de Medioambiente de las Naciones Unidas, y que entró en vigor en mayo de 1992, es un acuerdo global sobre el "Control del Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos", clasificándolos en tóxicos, venenosos, explosivos, corrosivos, inflamables, ecotóxicos e infecciosos. Sus objetivos claves son:

- Minimizar la generación de residuos peligrosos en términos de cantidad y peligrosidad
- Realizar su disposición lo más cercano posible a su generación.
- Reducir el movimiento de residuos peligrosos

La forma de lograr lo anterior, es a través de una gestión ambientalmente segura, que considere el control del almacenamiento, transporte, tratamiento, reutilización, reciclaje, recuperación y disposición final de los residuos, lo cual permitirá proteger la salud humana y el medioambiente. Además, en 1995, se incluyó un nuevo artículo que prohíbe exportar residuos peligrosos desde países desarrollados (pertenecientes a la OECD, UE o Liechtenstein) a países en desarrollo.

Chile firmó su adhesión a este convenio el 31 de enero de 1990 y el Congreso chileno lo ratificó en el año 1992. Hasta la fecha el país no cuenta con una regulación específica para regular el comercio, generación, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de residuos peligrosos, no obstante que, está próximo a ser publicado un Reglamento sobre Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos. Además, en el Congreso se encuentra en discusión desde hace varios años un proyecto de ley para prohibir el ingreso al país de residuos peligrosos.

4.3.3 Convenio de Estocolmo (POP's)

Este Convenio tiene como objetivo la regulación, reducción y probable eliminación de al menos doce contaminantes orgánicos persistentes (POP's)²⁴ ya identificados en el Convenio, sin perjuicio de la incorporación de nuevos compuestos en el futuro, de conformidad con el calendario que se establece, para los productos químicos enumerados en los Anexos A y B²⁵.

Bajo ese mismo articulado, se acordó la incorporación de un Anexo C que contempla medidas para la disminución a un mínimo de emisiones de compuestos (subproductos) no intencionales, provenientes de una lista indicativa de fuentes antropogénicas que liberen los siguientes POP's: Dibenzoparadióxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), Hexaclorobenceno (HCB) y Bifenilos policlorados (PCB).

²³ Más información en: <http://www.basel.int/about.html>

²⁴ 9 de ellos son pesticidas: aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, heptacloro, hexacloro, benceno, mirex y toxafeno. Además, considera los químicos industriales HCB y PCB y las dioxinas y furanos, estos últimos considerados químicos intencionales

²⁵ Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.pdf

El Convenio señala que estos compuestos se forman y se liberan de manera no intencionada a partir de procesos térmicos, que tengan presente materia orgánica y cloro, como resultado de una combustión incompleta o de reacciones químicas, e incluye un listado de fuentes contaminantes, donde se señalan los siguientes procesos térmicos de la industria metalúrgica: producción secundaria de cobre, aluminio y zinc; plantas de sinterización en la industria del hierro e industria siderúrgica; y procesos de combustión lenta de cables de cobre. Sin embargo, en el Anexo C, parte III se señala que pueden incluirse procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados anteriormente.

En este ámbito, y de acuerdo a la información técnica disponible, las fundiciones primarias de concentrados de cobre, como son las chilenas, no tienen un potencial riesgo de generar emisiones de dioxinas y furanos y por lo tanto, no debieran ser incluidas en las listas de las principales fuentes de emisión de POP's.

Actualmente el Convenio ha sido firmado por 151 gobiernos, entre ellos Chile (mayo 2001), pero falta su ratificación, para lo cual se necesitan 50 países (hasta la fecha hay 33)²⁶. Sin embargo, el Convenio contempla una etapa interina donde se espera avanzar en su implementación, que tiene como principal prioridad la eliminación total de los 12 POP's, así como la introducción de nuevas tecnologías más limpias en todas las fuentes de dioxinas y furanos.

Además, las Partes deben desarrollar planes nacionales para implementar la Convención y designar un punto focal nacional para intercambiar información sobre POP's y sus alternativas. En el caso de Chile es la CONAMA.

²⁶ Más información en: <http://www.pops.int/>

5. COMENTARIOS FINALES

Desde el punto de vista inversional, hasta fines del año 2002 se habían gastado US\$ 1.497 millones, valor que considera las inversiones en proyectos que se encuentran actualmente en ejecución en Chuquicamata, Potrerillos y El Teniente, proyectos que impactarán recién a partir del año 2003 los niveles de captación de azufre y de procesamiento de concentrados. En promedio, el conjunto de fundiciones ha gastado US\$ 1.526 por tonelada de azufre abatido, medido el año 2002, valor que debiera disminuir en la medida que Chuquicamata, Caletones y Potrerillos finalicen sus proyectos en ejecución.

Las inversiones estuvieron orientadas a capturar en forma preferente los gases primarios de las fundiciones, obviando la captura de gases secundarios y fugitivos, gases que tienen fuerte impacto en el ambiente laboral. Se estima que a futuro será necesario capturar una fracción de ellos, lo que implicará nuevas inversiones.

En la tabla siguiente se observa el porcentaje gastado por cada una de las fundiciones del total de recursos invertidos en relación con la capacidad de tratamiento de concentrados. Las cifras muestran que, en principio, no es evidente una relación de escala entre monto de inversión y tamaño de la instalación. Resalta el caso de la fundición de Caletones, en que, con el 29,7% de la capacidad instalada ha invertido sólo el 15% del total de la inversión acumulada. Esta situación se explica por el avance de los programas de inversión asociados a los planes de descontaminación, la naturaleza de los proyectos que se incluyen como inversiones ambientales y el año en que se empiezan a contabilizar estas inversiones.

Fundición	% Inversión	% Capacidad
Chuquicamata	51,5	40,9
Caletones	15,0	29,7
Potrerillos	16,7	12,5
Las Ventanas	8,8	9,7
H. Videla Lira	8,0	7,7

Elaborado por Cochilco en base a información de las empresas

Para efectos de comparación entre las fundiciones, se definieron dos indicadores por tonelada de azufre abatido: el primero, corresponde a la inversión promedio y el segundo a la inversión anualizada. No obstante que la definición tecnológica adoptada por el conjunto de fundiciones es similar, equipo de fusión Convertidor Modificado tipo Teniente y conversión en Convertidores Peirce Smith, ambas tecnologías no continuas, se observa una dispersión en la inversión anualizada de las fundiciones, para niveles semejantes de porcentaje de abatimiento de azufre.

Lo anterior se explica por distintos factores, por una parte, por que los proyectos que se incluyen en los planes de descontaminación tienen una mezcla de justificaciones (ambiental, rentabilidad, productividad, etc.); por otra, la ubicación geográfica de las fundiciones (altura sobre el nivel del mar) y finalmente, debido a la existencia de

proyectos, que en algunas fundiciones se ejecutaron, operaron y posteriormente fueron abandonados.

Fundición	Inversión (US\$ / TM Azufre Abatido)		Azufre Abatido (miles TM)
	Promedio	Anualizada	
Paipote	1.309	78,4	91,1
Ventanas	1.137	105,2	115,6
Caletones	813	46,4	276,0
Potrerillos	1.724	131,6	111,0
Chuquicamata	1.870	153,4	412,7

Elaborado por Cochilco en base a información de las empresas

Es importante destacar que el proceso de descontaminación se realizó sin disminuir las capacidades de fusión de concentrado, excepto en el caso de Ventanas. En el período en análisis, la capacidad promedio de fusión de concentrado fue de 3,9 millones de toneladas, con un máximo en el año 1999 de 4,2 millones de toneladas y un mínimo de 3,6 millones de toneladas en el año 1991.

Un coeficiente que se utiliza a nivel internacional para comparar el desempeño en relación a las emisiones de anhídrido sulfuroso de las fundiciones de concentrados de cobre, es las toneladas de SO₂ emitido por tonelada de cobre producido por la fundición. A continuación se muestran los valores de este indicador para las fundiciones estatales en el año 2002.

Fundición	TM SO ₂ emitido / TM Cu Blister	Emisiones SO ₂ año 2002
Paipote	0,275	25.400
Ventanas	0,298	32.780
Caletones	0,592	216.068
Potrerillos (*)	0,661	99.198
Chuquicamata	0,335	148.200
Promedio 5 Fundiciones	0,420	480.080

Elaborado por Cochilco en base a información de las empresas

(*) Cifras del año 2001

Los valores determinados para las fundiciones estatales chilenas se comparan favorablemente con aquellos que se encuentran en la literatura para fundiciones similares en Canadá, como por ejemplo, la fundición Horne y Gaspé, ambas de Noranda en Québec, y la fundición Copper Cliff de Inco en Sudbury (Ontario), que muestran para el año 2001 valores de 0,4; 0,364 y 1,07 respectivamente (Ver Anexo 2). No obstante, al considerar el concepto de la mejor tecnología disponible para fundiciones primarias de cobre, concepto desarrollado por los norteamericanos y de creciente utilización a nivel mundial, se debiera tomar como referencia el indicador que presenta la fundición de Kennecott en Utah, que utiliza la tecnología de fusión y conversión Flash, en lugar de la fusión en baño usada mayoritariamente por nuestras fundiciones, el que alcanza un valor de aproximadamente 0,003 TM SO₂ / TM Cu producido.

Los valores de cada fundición debieran converger a un valor único representativo de la tecnología de fusión y conversión utilizada. En opinión de la Comisión Chilena del Cobre, los valores que mejor representan este coeficiente tecnológico corresponden a los presentados por las fundiciones de Paipote y Ventanas, por cuanto son las únicas fundiciones que han finalizado sus inversiones asociadas a los Planes de Descontaminación. Es preciso recordar que este coeficiente tecnológico puede verse afectado por los contenidos de azufre de los concentrados procesados.

Un factor adicional a considerar es que en el período, las emisiones de arsénico se han reducido en más de un 90% para el conjunto de las fundiciones estatales, beneficio ambiental adicional que se ha obtenido producto de las inversiones realizadas.

Un hecho destacado es que las fundiciones, excepto Caletones, han obtenido retornos positivos por su producción de ácido sulfúrico, debido a que, en el mismo período se han desarrollado importantes proyectos hidrometalúrgicos de lixiviación de minerales oxidados, altamente demandantes de este insumo. A futuro, considerando que las producciones de ácido serán crecientes, en la medida que aumenten los niveles de captación, parece necesario realizar investigaciones tendientes a desarrollar nuevos usos para éste.

La información ambiental muestra que las fundiciones de Paipote y Caletones están dando cumplimiento a la normativa tanto primaria como secundaria de SO_2 , material particulado y arsénico, con ligeras excedencias de la norma diaria en una de las estaciones monitoras de Caletones. Por su parte Ventanas, en general cumple con las normas vigentes, presentando dificultades con la norma secundaria horaria para anhídrido sulfuroso.

La Fundición de Potrerillos, a pesar de haber dado cumplimiento al cronograma de reducción de emisiones, no cumple las normas de calidad primaria anual ni diaria de SO_2 . Teniendo en consideración que el campamento fue erradicado en el año 1999, por lo que no hay población expuesta, excepto los trabajadores durante la jornada de trabajo, las autoridades competentes deberían buscar alguna salida legal para dar por concluido el plan y levantar la zona saturada.

El término de los Planes de Descontaminación y la erradicación de campamentos ha dejado en evidencia un vacío legal, por cuanto la Ley de Bases del Medio Ambiente y sus reglamentos no consideraron procedimientos a seguir en estos casos, situación que debiera remediarse a la brevedad.

Del análisis de las tendencias regulatorias a nivel mundial que afectan a las fundiciones de concentrado de cobre se puede concluir que, los valores vigentes en Chile, en particular para SO_2 y material particulado, son similares a aquellos que se aplican en países desarrollados. Para el cumplimiento de estas normas, que han estado en vigencia en el mundo desde la década del 70, las instalaciones que operan en dichos países han debido introducir tecnologías que les permitan llevar los niveles de captación y abatimiento de contaminantes, principalmente azufre y material particulado, a valores superiores al 95%, los que en algunos casos superan al 99%.

Estas tecnologías tienen como característica principal, la fusión autógena y continua, y la conversión continua, de manera tal de evitar el flujo de líquidos calientes mediante ollas al interior de las naves, y de esa forma disminuir considerablemente las emisiones secundarias y fugitivas.

Teniendo en consideración lo anterior, y ponderando el esfuerzo inversional y tecnológico realizado por las fundiciones estatales, se visualiza como una tarea relevante para el corto y mediano plazo, evaluar el potencial de la tecnología en uso en dichas fundiciones, que permita aproximarse a los niveles de captación que se obtienen en fundiciones de concentrados de cobre en países desarrollados, toda vez que la globalización de los mercados eventualmente obligará a la industria chilena de fundiciones a cumplir estándares internacionales.

Finalmente, se puede concluir que las inversiones materializadas han permitido mantener la capacidad de fusión en torno a los 4 millones de toneladas de concentrado año en las fundiciones estatales, disminuyendo significativamente las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Este esfuerzo es único en el país, no existiendo otra actividad económica que haya realizado uno equivalente.

BIBLIOGRAFIA

Sulfur Dioxide Abatement Costs and Compliance with Health based Standards: The Case of Copper Smelters. Gustavo Lagos, José Miguel Lehuedé y Marcelo Andía. Resources Policy, June 2000.

Manejo de Arsénico en la Industria Metalúrgica del Cobre en Chile. A. Valenzuela, K. Fytas, M.Sánchez. VII Encuentro Minero organizado por el Departamento de Ingeniería, Area de Metalurgia, Universidad Arturo Prat, Noviembre 2001, Iquique.

Informe de Seguimiento del Plan de Descontaminación de Chuquicamata, Año 2001. Comisión Nacional del Medio Ambiente, II Región de Antofagasta, Marzo 2002.

Informe de Seguimiento del Plan de Descontaminación de Chuquicamata, Año 2002. Comisión Nacional del Medio Ambiente, II Región de Antofagasta, Marzo 2003.

Informe Estado Actual del Plan de Descontaminación de Potrerillos. Comisión Nacional del Medio Ambiente, III Región de Atacama, Copiapó, Febrero de 2001.

Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación para la zona circundante a la Fundición Potrerillos de la División Salvador de Codelco Chile. Unidad de Economía Ambiental, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Abril 1998.

Resultados del Plan de Descontaminación de la Fundición Hernán Videla Lira. Comisión Nacional del Medio Ambiente, III Región de Atacama, Copiapó, Marzo de 2002.

Estado de Cumplimiento Plan de Descontaminación de Ventanas. Comisión Nacional del Medio Ambiente V Región, Enero 2002.

Informe de Seguimiento y Control al Plan de Descontaminación al área circundante a la Fundición de Caletones de la División El Teniente, Codelco Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente, VI Región, Enero- Abril 2001.

Informe de Seguimiento y Control al Plan de Descontaminación al área circundante a la Fundición de Caletones de la División El Teniente, Codelco Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente, VI Región, Enero- Julio 2002.

Informe de Seguimiento y Control al Plan de Descontaminación al área circundante a la Fundición de Caletones de la División El Teniente, Codelco Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente, VI Región, Agosto - Diciembre 2002.

Análisis General del Impacto Económico y Social Plan de Descontaminación para el área circundante a la Fundición de Caletones de la División El Teniente de

Codelco Chile. Unidad de Economía Ambiental, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Noviembre 1996.

Emisiones Reales de Anhídrido Sulfuroso de las Fundiciones Chilenas de Cobre. 1986 – 1999. Planilla de Cálculo. Unidad de Asuntos Internacionales y Medio Ambiente, Comisión Chilena del Cobre.

TEXTOS LEGALES

- D.S. N° 185/91 del Ministerio de Minería: **Reglamenta Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el territorio de la República.**
- D.S.N° 93/95 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión.**
- D.S.N° 132/93 del Ministerio de Minería: **Aprueba Plan de Descontaminación de la División Chuquicamata de Codelco Chile, en los términos que se indican.**
- Resolución Exenta N° 1435/99 de CONAMA, Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Inicia revisión y reformulación del Plan de Descontaminación del Campamento de la División Chuquicamata de Codelco Chile.**
- D.S.N° 206/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Establece Nuevo Plan de Descontaminación para la zona circundante a la Fundición Chuquicamata de la División Chuquicamata de Codelco Chile.**
- D.S.N° 346/93 del Ministerio de Agricultura: **Declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado el área circundante al Complejo Industrial Ventanas, V Región.**
- D.S.N° 252/92 del Ministerio de Minería: **Aprueba Plan de Descontaminación del Complejo Industrial Las Ventanas propuesto conjuntamente por la Empresa Nacional de Minería, Fundición y Refinería Las Ventanas y la planta termoeléctrica de Chilgener S.A., en los términos que se indican.**
- D.S.N° 255/93 del Ministerio de Agricultura: **Declara zona saturada por anhídrido sulfuroso el área circundante a la Fundición Hernán Videla Lira, III Región.**
- D.S.N° 180/94 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Aprueba Plan de Descontaminación de la Fundición Hernán Videla Lira de Enami, en términos que indica.**
- D.S.N° 18/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado el área que indica.**

- D.S.N° 179/98 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Establece Plan de Descontaminación para la zona circundante a la Fundición de Potrerillos de la División Salvador de Codelco Chile.**
- D.S.N° 179/94 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado al área circundante a la Fundición Caletones. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.**
- D.S.N° 81/98 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Establece Plan de Descontaminación para el área circundante a la Fundición de Caletones de la División El Teniente de Codelco Chile.**
- D.S.N° 165/98 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Establece Norma de Emisión para la regulación del contaminante arsénico emitido al aire.**
- D.S.N° 113/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: **Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre (SO₂).**

Agencia de Suiza para el Medioambiente. Ordinance on Air Pollution, of 16 December 1985 (as of 28 March 2000) (OAPC).

http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/recht/umweltrecht/lrv_vo-en.pdf

Cochilco, 2003, "Perspectivas de la Industria Mundial y Nacional de Fundiciones de Cobre, Período 2002-2010".

http://www.cochilco.cl/contenido/b-publicaciones/estudios/libre_acceso/Perspectivas%20Fundiciones.pdf

CCME, 2002, "Canadian Environmental Quality Guidelines", Canadian Council of Minister of the Environment.

http://www.ccme.ca/assets/pdf/el_062.pdf

Commonwealth Australia, 2002, National Occupational Health & Safety Commission, "National Exposure Standards Database".

<http://www.nohsc.gov.au/OHSInformation/Databases/ExposureStandards/az/Arsine.htm>

Comunidad Europea, 1999, First Council Daughter Directive 1999/30/EC del 22 Abril 1999 relacionada a los valores límites para dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, material particulado (PM10) y plomo en el ambiente.

Comunidad Europea, 2000, Second Council Daughter Directive 2000/69/EC del 16 Noviembre 2000 relacionada a los valores límites para benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente.

Comunidad Europea, 2002, Third Council Daughter Directive 2002/3/EC del 12 Febrero 2002 relacionada al ozono en el aire ambiente.

Comunidad Europea, 2003, Fourth Daughter Directive sobre cadmio, poli-aromáticos hidrocarburos, arsénico, níquel, la cual está en preparación.

CONAMA, 2000, "Revisión de Normas Primarias de Calidad de Aire para Anhídrido Sulfuroso (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Partículas Totales en Suspensión (PTS)", Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud.

www.conama.cl

Environment Australia, 2002, "State of Environment Australia, 2001", Commonwealth Minister for the Environment by the State of the Environment Advisory Council.

<http://www.ea.gov.au/soe/>

Environment Canada, 1997, "Strategic Options for the Management of Toxic Substances from the Base Metals Smelting Sector", Report of Stakeholder Consultations, Canadian Environmental Protection Act.

http://www.ec.gc.ca/sop/download/bms_sor.pdf

Environment Canada, 1997, "National Pollutant Release Inventory: Summary Report, 1997". www.pyr.ec.gc.ca/ep/npri/1997/sr1997e.pdf

Fytas, K., 2002, "Air Pollutant Emissions and The Canadian Mineral Industry", *Proceedings SWEMP 2002*, R. Ciccu (Ed.), Cagliari, Italy, October 7-10, 2002, p. 487-492.

Government of British Columbia, 1995, "Ambient Air Quality for British Columbia".

http://wlapwww.gov.bc.ca/air/airquality/pdfs/airqual_1.pdf

Grossman, H., Hanusch, K., Herbst, K.A., Rose, G. and Wolf, H.U., 1997, "Arsenic", in *Handbook of Extractive Metallurgy*, Vol. II, F. Habashi (Editor), VHC- Wiley, pp. 795-822

Hanniala, P., Helle, L., y Kojo, I.V., 1999, "Competitiveness of the Outokumpu Flash Smelting Technology Now and in the third Millennium", in *Proceeding on Copper 99 International Conference*, Volume V – Smelting Operations and Advances, D.B. George, W.J. (Pete) Chen, P.J. Mackey y A.J. Weddick (editores), TMS, 1999, p. 221-238.

Hino, J., 1995, "Environmental Pollution Control Technology in Copper Smelting", *Metallurgical Review of MMIJ*, 12:2, pp. 1-14.

Japanese Journal of Occupational Health.

<http://joh.med.uoeh-u.ac.jp>

http://joh.med.uoeh-u.ac.jp/pdf/E42/E42_4_08.pdf

Kang, Y.C., y Park, S.S., 1997, "Making Improvements in Smelting Capacity at Onsan Copper Smelter", *Journal of Metals*, October 1997, p. 44 – 48.

Ministère de l'Environnement, 1989, "Directive 019: Industries Minières", Gouvernement du Québec.

Ministry of Environment, Government of Japan. "Environmental Quality Standards in Japan: Air Quality".

<http://www.env.go.jp/en/lar/regulation/aq.html>

NIOSH Criteria Documents - Occupational Hazard Assessments, Joint Occupational Health Documents.

<http://www.cdc.gov/niosh/critdoc2.html>

Northwest Territories Air Quality, Report 2000/2001.

http://www.gov.nt.ca/RWED/eps/pdfs/00_01airreportfinal.pdf

NPCR, 1998, "Ambient Air Quality in Australia", National Environment Protection Council. <http://www.nepc.gov.au/>

OSHA, Occupational Safety and Health Standards

<http://www.osha.gov/html/a-z-index.html#1>

Outokumpu, 2000, "Environmental Report"

<http://www.outokumpu.fi/group/environmental2.htm>

Sacher, M.E., 2002, "Significant Improvements made in Sulphur Capture in Last Decade", *Copper Studies*, Julio 2002, CRU International Limited.

Unión Europea, 2000, DIRECTIVA 2000/39/CE.

http://europa.eu.int/eur-lex/pri/es/oj/dat/2000/l_142/l_14220000616es00470050.pdf

http://europa.eu.int/comm/employment_social/health_safety/areas/oels_en.htm

US EPA, 1990, "Sec. 112: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants", in *Clean Air Act*, Title I: Air Pollution Prevention and Control, Part A: Air Quality and Emission limitation". <http://www.epa.gov/oar/caa/caa112.txt>

US EPA, 1998a, "National Air Quality and Emissions Trends Report", Office of Air Quality, Planning & Standards (OAQPS).

<http://www.epa.gov/oar/aqtrnd98/appenda.pdf>

US EPA, 1998b, "Rule and Implementation Information for Primary Copper Smelters", Environmental Protection Agency, Office of Air Quality, Planning & Standards (OAQPS).

<http://www.epa.gov/ttnuatw1/copper/copperpg.html>

US EPA, 2000, "National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)", Office of Air Quality Planning and Standards.

<http://www.epa.gov/airs/criteria.html>

US EPA, 2002, "Nacional Emisión Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting; final Rule, 40 CFR Part 63, junio 2002.

http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/fr_notices/pcs_fr.pdf

<http://www.epa.gov/ttn/atw/copper/fr12jn02.pdf>

Valenzuela, A., Palacios, J., Cordero, D., y Sánchez, M., 2003, "The Chilean Copper Metallurgical Industry: An Update", *Yazawa International Symposium, Metallurgical and Materials Processing: Principles and Technologies, Volume II: High-Temperature Metals Production*, F. Kongoly, K. Itagaki, C. Yamauchi, y H.Y. Sohn (editores), TMS, p. 239-252.

Valenzuela, A., y Sánchez, M, "Manejo de Arsénico en la Industria Metalúrgica del Cobre en Chile" y "Manejo de Arsénico en la Industria Metalúrgica: Recuperación y Neutralización", II Encuentro Minero del Cono Sur de América y VII Encuentro Minero de la Región de Tarapacá, J.P. Ibáñez, E. Patiño y X. Veloso (editores), Iquique, Chile, 22 al 25 agosto 2001.

Valenzuela, A., Fytas, K., y Sánchez, M, "Arsenic Management in the Metallurgical Industry of Copper in Chile", VI SHMMT / XVIII ENTMME, Río de Janeiro/Brasil, mayo 2001.

World Bank, 1998, "Summary of Air Emission and Effluent Discharge Requirement Presented in the Industry Guidelines", in *Pollution Prevention and Abatement Handbook*, World Bank Group.

Páginas web de compañías mineras visitadas:

www.angloamerican.co.uk	www.atlantic-copper.es
www.incoltd.com	www.outokumpu.com
www.noranda.ca	www.na-ag.com
www.asarco.com	www.smm.co.jp
www.atlantic-copper.es	www.mitsubishi.or.jp
www.metallo.com/	www.southernperu.com
www.umicore.com/	www.doerun.com.pe
www.mining.ca	www.bhpbilliton.com
www.gmexico.com	www.boliden.com
www.phelpsdodge.com	www.codelco.cl
www.kennecott.com	www.enami.cl

Anexo 1

Evolución de las Regulaciones de Emisión y Calidad del Aire en diversos Países

Estados Unidos

En los Estados Unidos las principales regulaciones federales que afectan a la industria metalúrgica son:

- **Acta del Aire Limpio y sus modificaciones:** estándares de calidad del aire, 1990
- **Acta de Seguridad y Salud en Minas:** protege la salud y seguridad de los trabajadores, 1977
- **Acta de Prevención de la Contaminación:** reducción de la contaminación, 1990
- **Acta de Eliminación de Residuos Sólidos:** regula la generación, almacenamiento y eliminación de residuos peligrosos y manejo de residuos sólidos no peligrosos (estatal), 1965

Específicamente para el aire, el 30 de abril de 1971, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos promulgó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (NAAQS) para seis elementos, entre ellos el anhídrido sulfuroso.

Respecto al material particulado, la evidencia científica que sirve de base para los NAAQS se ha revisado y actualizado periódicamente desde 1971 y como resultado de ello, se han incorporado cambios a los estándares. La tendencia seguida por la regulación norteamericana ha sido la de reemplazar a las Partículas Suspendidas Totales ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (media anual) y $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media 24 h) en el año 1971), como indicadores de partículas suspendidas e ir estableciendo límites para las partículas más pequeñas, de acuerdo con la nueva evidencia científica y médica.

La norma de PM_{10} , promulgada en 1987, se cumple cuando el percentil 99 de las mediciones, promediado en tres años, en cada monitor, es menor o igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de la norma anual, se considera cumplida cuando la media aritmética de las mediciones, promediada en tres años, en cada monitor, es menor o igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La norma diaria de $\text{PM}_{2.5}$, promulgada en 1997, se cumple cuando el percentil 98 de las mediciones, promediado en tres años, en cada monitor, es menor o igual a $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La norma anual se cumple cuando la media aritmética anual de las mediciones de tres años, es menor o igual a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La fecha máxima de cumplimiento para estas normas es el año 2017.

El 18 de julio de 1997 la EPA promulgó una norma definitiva para el ozono (O_3) (en reemplazo del anterior estándar primario y secundario de 1 hora que estaba fijado en el nivel $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con un estándar de 8 horas fijado en el nivel de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El estándar se cumple cuando el promedio de tres años de las cuatro más altas concentraciones promedio anuales de O_3 de 8 horas, medidas en cada estación de monitoreo dentro de un área, es menor o igual a $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Canadá

Al igual que en Estados Unidos, el Gobierno de Canadá tiene una Acta de Protección Ambiental Canadiense (CEPA en inglés), la cual es una ley ambiental federal desde 1998. El gobierno federal puede evaluar los contaminantes al aire y controlar su impacto a través del establecimiento de Objetivos de Calidad del Aire Ambiente Nacional (NAAQOs en inglés), como los mostrados en la Tabla N° 10 en el capítulo IV del informe, y los Estándares Globales de Canadá (Canada - Wide Standards – CWSs) bajo CEPA²⁷.

Los NAAQOs identifican los niveles de protección de la población y el medioambiente, donde el nivel máximo aceptable ha sido considerado el objetivo a alcanzar por las acciones de gestión de calidad del aire a nivel provincial y federal. Sin embargo, este triple sistema está siendo reemplazado por un único objetivo de calidad del aire nacional, que permita reflejar los continuos efectos ambientales y de salud causados por la contaminación del aire.

Este objetivo nacional es desarrollado considerando la opinión de representantes de los departamentos de medioambiente y salud a nivel federal, provincial y territorial, pero son promulgados por el Gobierno Federal. Sin embargo, los gobiernos provinciales tienen una responsabilidad prioritaria en muchas áreas de la contaminación del aire y éstos pueden adoptar los NAAQOs a través de procesos de su elección e implementarlos como ellos deseen. Los NAAQOs pueden ser usados en forma diferente en cada provincia o territorio.

Por otra parte, los CWSs son considerados Objetivos de Calidad Ambiental bajo CEPA, 1999, y en enero de 1998, los Ministros de Medioambiente Canadienses (con la excepción de Québec) firmaron el Acuerdo Global-Canadá sobre Armonización Ambiental²⁸ y su sub-acuerdo sobre CWSs²⁹, los cuales entregan una herramienta regulatoria alternativa para la gestión de los temas ambientales de interés nacional.

Los contaminantes al aire, identificados por los gobiernos, que necesitan ser manejados serán desarrollados bajo CWSs o NAAQOs, pero no por ambos³⁰. Hasta la fecha se han desarrollado los estándares de material particulado fino (PM_{2,5}) y ozono, bajo el acuerdo de Armonización y Estándares, como se muestra a continuación:

Contaminante	Tiempo promedio	Valor a cumplir al año 2010
Ozono (O ₃)	8 horas	120 µg/m ³
PM _{2,5}	24 horas (día)	30 µg/m ³

²⁷ Una revisión de la nueva acta o CEPA 1999, fue promulgada como ley el 31 de marzo de 2000, después de 5 años de un proceso de revisión. Esta se focaliza en la prevención de la contaminación y la protección del medioambiente y la salud humana con el objetivo de contribuir al desarrollo sustentable. Más información en: <http://www.ec.gc.ca/ceparegistry/>

²⁸ Ver el acuerdo en: http://www.ceme.ca/assets/pdf/cws_agreement_env_harmonization.pdf

²⁹ Ver el sub-acuerdo en: http://www.ceme.ca/assets/pdf/cws_envstandards_subagreement.pdf

³⁰ Ver un diagrama sobre el desarrollo del proceso: http://www.hc-sc.gc.ca/hccs-scsc/air_quality/diagramable.htm

Otros estándares actualmente en desarrollo son para: el benceno; mercurio desde incineradores y fundiciones de metales básicos; dioxinas y furanos desde incineradores de residuos y plantas de celulosa y papel que queman madera impregnada con productos clorados; hidrocarburos de petróleo en suelos; mercurio en residuos de lámparas y amalgamas dentales. Además, se espera el desarrollo de estándares para emisiones de dioxinas y furanos desde plantas de sinterización de hierro, manufactura de acero y quemadores de residuos, y emisiones de mercurio desde plantas de generación de energía eléctrica³¹.

Respecto al mercurio, la estrategia adoptada fue establecer estándares que reduzcan las emisiones desde todos los usos y sectores. Para el sector de fundiciones de metales básicos, el estándar establece que las plantas existentes usen la mejor técnica disponible de control y prevención de la contaminación, económicamente viable para alcanzar la directriz de rendimiento ambiental (emisión atmosférica) de 2 gramos de Hg por tonelada de producción total de metales finales, hacia el año 2008. Las plantas nuevas y en expansión deberán alcanzar un límite de emisión que varía entre 0,2 y 1 gramo de Hg por tonelada de metal final producido. Desde 1998, las principales fundiciones de zinc, cobre y plomo han realizado varios avances, reduciendo sus emisiones en un 94% (25 TM). La implementación de este estándar reducirá adicionalmente las emisiones de mercurio en 800 Kg. hacia el año 2008³².

Además, las normas ambientales para la calidad del aire en Canadá están integradas en forma nacional a las "Directrices de Calidad Ambiental de Canadá", que fueron promulgadas en abril de 1996 por el Comité de Ministros del Consejo Canadiense de Ministros de Medioambiente (CCME en inglés). Esta incluye todos los medios ambientales, incluyendo el agua (potable, recreación, vida acuática, irrigación, agropecuaria), el suelo (agricultura, parque y residencial, tierra para uso comercial e industrial), sedimentos, residuos de tejidos finos (para consumidores de fauna acuática), y el aire (para salud humana, vegetación, animales, materiales y propiedades atmosféricas estéticas)³³.

Unión Europea

En 1996 la UE adoptó una Directiva Marco del Consejo sobre Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire Ambiente (CE/62/1996)³⁴, la cual entrega los principios a ser usados para determinar los objetivos para la calidad del aire ambiente en la UE, evaluar la calidad del aire en los Estados Miembros de una manera uniforme, generar información sobre contaminación del aire hacia el público y mantener o mejorar la calidad de ésta. Los contaminantes a ser estudiados en una etapa inicial, incluyendo a aquellos ya analizados en otras directrices fueron: el anhídrido sulfuroso, dióxido de nitrógeno,

³¹ Más información en <http://www.ccme.ca/initiatives/standards.html>

³² Un informe sobre los avances luego de dos años de la firma del acuerdo se encuentra en http://www.ccme.ca/assets/pdf/harminitiative_2yr_e.pdf

³³ Un resumen de los diferentes estándares se encuentra en http://www.ccme.ca/assets/pdf/cl_062.pdf

³⁴ Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Ver la normativa en <http://europa.eu.int/comm/environment/air/ambient.htm>

material particulado fino, material particulado suspendido, plomo, ozono. Otros contaminantes que debían analizarse eran: el benceno, monóxido de carbono, hidrocarburos poli-aromáticos, cadmio, arsénico, níquel y mercurio.

Hasta la fecha, la Directiva Marco ha sido seguida por las siguientes directivas hijas³⁵:

- 1° directiva del Consejo, CE/30/1999 de julio de 1999, que regula el anhídrido sulfuroso, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, el material particulado (PM₁₀) y el plomo, en el aire ambiente.
- 2° directiva del Consejo, CE/69/2000 del 13 de diciembre de 2000, que regula los valores límites al aire para el benceno y el monóxido de carbono.
- 3° directiva del Consejo, CE/3/2002 del 12 de febrero de 2002, que regula las emisiones al aire de ozono, y que debía ser aplicada por los Estados Miembros hacia el 09 de septiembre de 2003.
- 4° directiva sobre cadmio, hidrocarburos poli-aromáticos, arsénico, níquel, la cual está en preparación.

Estas directivas se basan en la información sobre contaminantes y sus efectos sobre la salud generada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus Directrices sobre Calidad del Aire³⁶, más información generada por la European Environmental Agency (EEA) de la Unión Europea.

La Tabla 10 del capítulo 4 del informe muestra los valores límites de calidad de los contaminantes ya normados, los cuales son obligatorios para los diversos Estados Miembro, quienes sólo tienen la libertad para autoimponerse límites más estrictos.

Respecto al anhídrido sulfuroso, la nueva norma para el valor horario (ver Tabla 10), a cumplirse antes del 2005 da un margen de tolerancia de 43%, reduciéndose dicho margen en forma lineal, cada 12 meses hasta 0% el 2005, desde la fecha de promulgación de la Directiva, que fue en el año 1999. No existe margen de tolerancia para el valor diario, el cual debe ser cumplido de inmediato.

Por su parte, las nuevas normas de PM₁₀ se aplicarán en 2 fases. La Fase 1 termina en el año 2005 y la Fase 2 termina el 1° de enero del año 2010. Con respecto a PM_{2,5}, el Artículo 4° de la nueva Directiva indica que en aquellas zonas donde se superen los valores límite de PM₁₀, debido a considerables concentraciones de fuentes naturales en el ambiente, se pueden aplicar los "niveles de actuación" de PM_{2,5}, los que corresponden a metas indicativas a ser cumplidas en lo posible en las fechas indicadas.

Con respecto a la norma diaria de PM₁₀, ésta se puede exceder no más de 35 veces en el año. La fecha de cumplimiento de esta norma es el año 2005. Al igual que los norteamericanos, la UE ha reemplazado a las PTS como indicadores de contaminación por partículas.

³⁵ Más información sobre estas directivas en: <http://europa.eu.int/comm/environment/air/ambient.htm#2>

³⁶ Para la OMS, ver: <http://www.who.int/pch/air/airqualitygd.htm> y para la EEA, ver: http://themes.eea.eu.int/Specific_media/air

La UE ha establecido un margen de tolerancia de 50% para el valor diario a cumplirse antes del 2005, reduciéndose dicho margen en forma lineal, desde la fecha de promulgación de la Directiva (1999) hasta 0% el año 2005. Esto significa, por ejemplo, que en 1999 se acepta un valor de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como norma diaria, el cual se reduce todos los años hasta llegar a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – el valor de la norma – en el año 2005. En el año 2010, el nivel de excedencia de la norma diaria se reduce a 7 veces en el año.

Con respecto a la norma anual de PM_{10} , ella debe cumplirse en el año 2005, pero no puede excederse durante el año. El margen de tolerancia para el valor anual a cumplirse antes del 2005 es de 50%, reduciéndose dicho margen en forma lineal, desde la fecha de promulgación de la Directiva hasta 0% el 2005. Lo mismo se aplica para el cumplimiento del valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido para el año 2010.

La 4° Directiva sobre cadmio, hidrocarburos poli-aromáticos, arsénico, níquel propone los siguientes valores anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

Elemento	Valor objetivo ^a	Concentración actual en el aire			Principales fuentes antropogénicas
		Rural	Urbana	Industrial	
Arsénico	6×10^{-3}	1,5	3	Hasta 120	86% combustión estacionaria, 9% industria de hierro y acero, metales no ferrosos
Cadmio	5×10^{-3}	0,4	2,5	Hasta 40	20% combustión estacionaria, 20% industria hierro y acero, 20% transporte carretero y 14% industria de metales no ferrosos
Níquel	20×10^{-3}	2	13	30	55% combustión estacionaria, 30% fuentes móviles y maquinaria, que no sea transporte carretero
BaP Benzopireno	1×10^{-3}	< 1	3	30	Combustión de combustibles sólidos, coke, producción de aluminio primario, tráfico de carreteras

^a Aplicado al contenido de metal total en la fracción de PM_{10} .

Fuente: www.eurometaux.org

Australia

Australia tiene un acuerdo nacional de estándares de calidad del aire ambiente exterior para cada uno de los contaminantes listados en la Tabla 10 del capítulo 4, los cuales en su mayoría pueden ser excedidos una vez al año, salvo los valores anuales de dióxido de nitrógeno, plomo y anhídrido sulfuroso, que no pueden ser excedidos. Estos estándares fueron promulgados por el Consejo de Protección del Medioambiente Nacional (NEPC en inglés)³⁷ el 26 de junio de 1998, bajo las Medidas de Protección del Medioambiente Nacional (NEPM) para la Calidad del Aire Ambiente (Air NEPM).

³⁷ Más información sobre el Consejo en: <http://www.ephc.gov.au/>

Cada jurisdicción de Australia comenzó a informar datos de calidad del aire a NEPC, en virtud del Air NEPM en el año 2001, con el objetivo de alcanzar los estándares dentro de 10 años (hacia el 2008). Sin embargo, datos disponibles de calidad del aire indican que los estándares han sido excedidos sólo algunas veces en varias áreas urbanas y regionales desde 1997. Esto puede ser atribuido a los considerables esfuerzos para reducir la contaminación desde vehículos y grandes fuentes industriales³⁸.

Japón

Japón fue uno de los primeros países del mundo en contar con una legislación y normas muy estrictas para proteger a su población de los efectos del anhídrido sulfuroso ambiental. Es así como en 1968 se promulga la Ley de Control de la Contaminación del Aire ("Air Pollution Control Law") y comienzan a establecerse normas de calidad del aire, que se han mantenido hasta ahora con periódicas revisiones, la última en 1996³⁹. Como se muestra en la Tabla 10 del capítulo 4, Japón ha establecido normas muy estrictas para proteger a su población de los efectos de varios contaminantes.

Desde 1973, en Japón se regula el PM₁₀ en vez de las PTS, así como el ozono, el anhídrido sulfuroso y el CO, y desde julio de 1978, se regula el dióxido de nitrógeno⁴⁰.

En la actualidad, se está revisando la norma de material particulado, con el objetivo de validar la incorporación de una normativa respecto a PM_{2,5}.

Suiza

Las normas de calidad del aire de Suiza se establecieron en la "Ordenanza sobre el Control de la Contaminación del Aire" (OAPC en inglés), del 16 de Diciembre de 1985, la que es administrada por la Agencia Suiza para el Medioambiente, Bosques y Paisajes⁴¹. La última actualización de esta normativa data del 28 de marzo de 2000.

En el caso del anhídrido sulfuroso, además del estándar anual y diario, existe un valor para el período de media hora, donde el 95% de los niveles promedio de media hora de un año debe ser menor o igual a 100 µg/m³. Similar situación ocurre para el estándar de calidad del aire para dióxido de nitrógeno. Por su parte, la normativa para PM₁₀ reemplazó en 1997 a la norma de Partículas en Suspensión (70 µg/m³ (media anual) y 150 µg/m³ (media 24 h)).

Adicional al estándar de plomo, la normativa suiza considera un estándar de calidad del aire para cadmio (Cd en el PM₁₀) con un valor promedio anual de 1,5 ng/m³.

³⁸ Ver Australia State of the Environment 2001. <http://www.ea.gov.au/soe/2001/atmosphere.html>

³⁹ Air Pollution Control Law. <http://www.env.go.jp/en/air/airlaw/index.html>

⁴⁰ Environmental Quality Standards in Japan: Air Quality. <http://www.env.go.jp/en/air/regulation/air.html>

⁴¹ Agencia de Suiza para el Medioambiente. Ordinance on Air Pollution, of 16 December 1985 (as of 28 March 2000) (OAPC). http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/recht/umweltrecht/lrv_vii-en.pdf

Asimismo, esta normativa considera estándares de calidad del aire para el polvo sedimentable como un valor promedio anual medido en $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{día}$, para los siguientes contaminantes: polvo total: 200.000; plomo: 100; cadmio y talio: 2, y zinc: $400 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{día}$.

Además, existen límites de emisión para varios contaminantes, que son función del tamaño de la instalación. Por ejemplo, en el caso del material particulado, si el flujo másico de las partículas es 0,5 Kg/h o más, la emisión total de polvo no debe exceder los $50 \text{ mg}/\text{m}^3$. Asimismo, existen estándares para algunas sustancias inorgánicas contenidas en el material particulado, como se muestra a continuación:

Clase	Flujo másico (g/h)	Estándar mg/m^3	Elemento y sus compuestos
1	1	0,2	Hg, Th
2	5	1	As (excepto arsina), Co, Ni, Se, Te
3	25	5	Sb, Cr, Co, Cu, F (polvo), Pb, Mn, Pd, Pt, SiO_2 , Rh, Sn, V

El valor límite aplica a la masa total de una sustancia emitida, incluyendo los componentes gaseosos y vapores en el gas de salida. Además, si éste contiene varias sustancias que pertenecen a la misma clase, el valor límite será aplicado a la suma de estas sustancias.

En el caso de las sustancias inorgánicas gaseosas o vapores se aplica un criterio similar al anterior, de acuerdo a lo siguiente:

Clase	Flujo másico (g/h)	Estándar mg/m^3	Sustancias
1	10	1	Cloruro cianogeno, arsina, fosfina, fosgeno,
2	50	5	Bromuro, cloro, fluoruro, cianuro, sulfuro de hidrógeno
3	300	30	Amonio, compuestos de cloro,
4	2500	250	Óxidos de nitrógeno y de azufre

También existen estándares de emisión para varias instalaciones en particular, como las plantas de ácido sulfúrico, los hornos cementeros, refineries de petróleo, fundiciones de aluminio, e instalaciones para la refinación de metales no ferrosos, entre otras. Por ejemplo, una planta de ácido sulfúrico no puede emitir más de 2,6 Kg. de SO_2 por tonelada de ácido sulfúrico al 100%.

Anexo 2

Reducción de Emisiones desde la Industria Metalúrgica Estudio de Casos

A continuación se presentan algunos ejemplos sobre iniciativas de reducciones de emisiones de contaminantes a la atmósfera, llevadas a cabo por gobiernos federales o provinciales o la industria minera en varios países. Asimismo, se analiza la industria de fundiciones en estos países y la tecnología que utilizan para la reducción de contaminantes, principalmente anhídrido sulfuroso.

Estados Unidos

Estados Unidos ha reducido considerablemente su producción de cobre de fundición, pasando de 1,7 millones de toneladas (17,4% del total mundial) en 1993 a 687.000 toneladas (5,9% mundial) en el año 2002, principalmente debido al cierre o detención de 4 fundiciones, cuyos costos de operación eran demasiado altos, así como por las nuevas regulaciones ambientales.

Las fundiciones de cobre están sujetas a los Estándares de Rendimiento para Nuevas Fuentes Estacionarias (40 CFR Parte 60.160 a 60.165, subparte P)⁴², las cuales son aplicables a secadores, tostadores, hornos de fusión, y equipos de conversión, que comenzaron su construcción o modificación después del 16 de octubre de 1974. Estos estándares requerían que los secadores controlaran la descarga, al punto que las emisiones de material particulado no excedan los 50 µg/Nm³. Respecto a los tostadores, hornos de fusión, y equipos de conversión, los gases emitidos no debían contener más de 0,065% en volumen de SO₂.

Sin embargo, en el año 1990 el Congreso de Estados Unidos modificó el Acta de Aire Limpio y la Agencia de Protección Ambiental debió desarrollar estándares de emisión al aire en función de la tecnología en fundiciones primarias y secundarias para varios contaminantes peligrosos (HAP's en inglés) (por ejemplo, asbestos, mercurio, compuestos de arsénico, antimonio, cadmio, plomo, etc.)⁴³.

A la fecha, EPA ha identificado 174 categorías de fuentes industriales que emiten uno o más de estos contaminantes y generó categorías de fuentes "principales"⁴⁴ y Estándares de Emisión Nacional para Contaminantes Peligrosos al Aire (NESHAP en inglés) para cada categoría. Estos estándares debieran cumplirse utilizando la mejor tecnología de control disponible (MACT - Maximum Achievable Control Technology), cambios en el proceso, sustitución de materiales u otras modificaciones.

⁴² Más información en: http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_40/40cfr60_00.html

⁴³ US EPA, 2002, "National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants", 40 CFR parte 61.

http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_40/40cfr61_00.html

⁴⁴ "fuentes principales" significa cualquier fuente estacionaria o grupo de fundiciones localizadas en un área bajo control que emite o tiene el potencial de emitir al aire, considerando controles, 10 ton/año o más de cualquier contaminante peligroso, o 25 ton/año o más de cualquier combinación de contaminantes peligrosos.

En un plazo no mayor a 8 años (a contar de 1990), las fuentes de emisión debieron publicar una lista con los contaminantes peligrosos que ellas emitían, con el fin de determinar el plan de reducción de emisiones en los dos años siguientes, el que puede considerar la prohibición de emitir algunos contaminantes cancerígenos. Esto también incluye a las fuentes nuevas.

Específicamente para las fundiciones de cobre en Estados Unidos, a partir del 12 de junio de 2002, y dentro de un plazo de 3 años, estas instalaciones deberán cumplir los Estándares Nacionales de Emisión para Contaminantes Peligrosos al Aire (EPA, 40 CFR parte 63), que establecen estándares de emisión y de prácticas de trabajo para fundiciones primarias de cobre que son (o son parte de) una importante fuente de emisiones de contaminantes tales como, antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cobalto, plomo, manganeso, níquel y selenio. Se espera que, cuando la norma esté completamente implementada se reducirán las emisiones del total de contaminantes regulados provenientes de estas fuentes en un 23%, es decir, 22 toneladas al año. Una decisión importante es que las nuevas fundiciones de cobre, que comenzaron su construcción después del 20 de abril de 1998 tienen prohibido el uso de equipos de conversión tipo batch (Pierce-Smith o Hoboken).

La tabla siguiente muestra los principales estándares de emisión a la atmósfera que deberán cumplir las fundiciones de cobre. En las operaciones de fusión y de limpieza de escorias se deben controlar las emisiones de gases fugitivos durante el proceso de obtención de mata y escoriado. Si hubiera emisiones, éstas deben ser recolectadas en un sistema de captura de gases. Además, se proponen exigencias operacionales para el sistema de manejo de gases, tales como cámaras de gases, scrubbers húmedos tipo venturi, entre otros.

Instalación	Standard (mg/m ³) de material particulado
Secador de concentrado	50 para fuente existente, desde la descarga de gases
	23 para fuente nueva, desde la descarga de gases
Horno de fusión	6,2 sin que contenga partículas de ácido sulfúrico (desde chimenea)
	23 desde el sistema de captura de gases fugitivos
Horno limpieza escorias	6,2 Sin que contenga partículas de ácido sulfúrico (desde chimenea) o
	46 de material particulado total
	23 desde el sistema de captura de gases fugitivos
Convertidores	6,2 desde un sistema de captura, sin que contenga partículas de ácido sulfúrico
	23 desde un sistema de captura secundario (de material particulado total)

Fuente: elaborado en base a EPA, 40, CFR parte 63.

Las fundiciones potencialmente sujetas a este estándar son:

Compañía	Ubicación	Capacidad de Producción (ton /año)	Tecnología		Status
			Fusión	Conversión	
ASARCO Incorporated	Hayden, Arizona	205.000	Flash Inco	Peirce Smith	Operación
	El Paso	-	Ciclón Contop	Peirce Smith	Detenida, abr. 1999 ^c
Phelps Dodge	Miami, Arizona ^a	190.000	Isasmelt	Hoboken	Operación
	Chino Mines	-	Flash Inco	Peirce Smith	Detenida, feb. 2002
	Hidalgo County	-			Detenida, sep. 1999 ^b
Kennecott Utah Copper	Garfield	330.000	Flash Outokumpu	Flash Outokumpu	Operación
BHP Co. Ltd.	San Manuel, Arizona	-	Flash Outokumpu	Peirce Smith	Detenida, mayo 1999 ^d

^a ex Cyprus Miami Mining Corporation

^b Debido a la conversión de las operaciones de Morenci en Arizona en un 100% al proceso de lixiviación, SX-EW.

^c Asarco Incorporated anunció que la fundición permanecería en este status por un plazo mínimo de 3 años.

^d BHP nunca reabrió su fundición luego del período de mantención y el cierre de sus minas.

Fuente: Cochilco, USGS, CRU

Estas fundiciones primarias de cobre tienen una captura de azufre que varía entre 95 y 99%, y todas ellas poseen plantas de doble contacto para la producción de ácido sulfúrico, así como una planta para la purificación de los efluentes. Un ejemplo de reducción de emisiones es la fundición Kennecott Utah Copper. A continuación se entregan algunos detalles de sus logros.

Fundición Kennecott Utah Copper

Entre 1989 y 1995 la fundición Kennecott Utah Copper reemplazó los 3 reactores Noranda y 4 convertidores Peirce Smith y construyó una fundición, donde el concentrado es fundido en un horno Flash Outokumpu, luego la mata es granulada y procesada usando el proceso de conversión Flash Kennecott-Outokumpu. Los ánodos de cobre se procesan en una moderna refinera, usando el Proceso Kidd, mientras que los descartes de la refinera son procesados para recuperar los metales preciosos usando un proceso hidrometalúrgico. La inversión total fue de US\$ 1.000 millones⁴⁵.

Se duplicó la producción de cobre blister, llegando a 280.000 ton/año, mientras que las emisiones de SO₂ se redujeron desde 16.850 a 982 ton/año (el valor límite es 1.000 ton/año), el material particulado desde 1.216 a 400 ton/año (el valor límite es 418 ton/año), y las emisiones de NO_x desde 131 ton/año a 110 ton/año. Normalmente la fundición logra una captura de azufre de alrededor un 99,9%, lo cual es equivalente a cerca de 2,75 Kg SO₂ / ton Cu producido. Esto hace que la fundición Kennecott tenga los índices de captura de azufre más altos entre las fundiciones del mundo. Además, la planta genera el 70% de sus necesidades de energía (24 MW).

⁴⁵ Más información en: http://www.kennecott.com/images/pdf_files/kuc_envir.pdf

Lo anterior, ha sido posible también gracias a la minimización de los gases fugitivos, lo que se ha logrado mediante la instalación de equipos de ventilación, que permiten recolectar los gases y humos de las áreas de sangría de los hornos, así como cualquier emisión desde equipos de fusión y conversión. Asimismo, los gases de combustión del horno de ánodos y de refino se hacen pasar a través de scrubbers desulfurizantes para remover las partículas finas y el SO_2 , antes de ser emitidos a la atmósfera.

Una planta de ácido sulfúrico (145 t/h) permite obtener gases residuales que contienen menos de 100 ppm de SO_2 . Sin embargo, actualmente se obtienen concentraciones de gases residuales de entre 50 – 70 ppm, partiendo de un gas de alimentación que contiene 14% de SO_2 , lo que permite lograr una eficiencia de conversión mayor a 99,95%.

Además, la fundición cuenta con una planta hidrometalúrgica para procesar los polvos de fundición que se recuperan de los gases provenientes del horno flash y los convertidores, así como los descartes de la refinera electrolítica. El proceso consiste de dos etapas de lixiviación con agua y ácido para disolver la mayoría de los metales, excepto el plomo y los metales preciosos. Luego, tres etapas de precipitación selectiva separan al arsénico, el cobre y el bismuto. El precipitado de sulfuro de cobre se retorna a la fundición. El arsénico se precipita como As_2S_3 , junto con el cadmio (CdS), para posteriormente disponerlos en un lugar seguro. El bismuto se mezcla con yeso y se envía a un sitio de disposición de residuos.

Canadá

Canadá es un líder internacional en minería, y la industria de minerales y metales es el segundo sector exportador a nivel nacional, siendo un importante productor de metales básicos: cobre, zinc, níquel, plomo. Actualmente, el país produce 539.000 toneladas de cobre de fundición (4,7% mundial), producción que se ha mantenido en los últimos años.

La tabla siguiente muestra datos de las fundiciones de cobre que operan actualmente en Canadá.

Compañía	Ubicación	Capacidad de Producción (ton/año)	Tecnología	
			Fusión	Conversión
Falconbridge	Kidd Creek	155.000	Mitsubishi continuo	Mitsubishi continuo
Inco	Copper Cliff	140.000	Flash Inco	Horno MK Inco
Noranda	Horne	220.000	Reactor Noranda	Convertidor Continuo Noranda
HBMS Co.	Flin Flon	80.000	Horno reverbero	Peirce Smith

Notas: - La fundición Horne es una fundición maquiladora, que utiliza como alimentación concentrados de cobre y materiales reciclados conteniendo metales preciosos para producir un ánodo de 99,1% Cu.

- En abril de 2002, Noranda cerró su fundición Gaspé, ubicada en Murdochville, la cual tenía una capacidad de fusión de 135.000 ton/año de ánodos de cobre, utilizando un horno reverbero y un convertidor Peirce Smith

- HBMS Co: Hudson Bay Mining and Smelting Co. de Angloamerican produce también 100.000 ton/año de zinc

En materia ambiental, el Gobierno de Canadá (federal y provincial) y la industria minera canadiense han llevado a cabo varias iniciativas para mejorar la protección del medio ambiente, principalmente la reducción de emisiones de SO₂ y gases de efecto invernadero, desde el sector de fundición y refinación de metales básicos.

Emisiones de SO₂

En 1985, Canadá inició un programa de lluvia ácida del este de Canadá, con el objetivo de reducir sus emisiones de SO₂ a 2,3 millones de toneladas hacia 1994, en las siete provincias desde Manitoba hacia el este. Esto equivalía a un 40% de reducción respecto de los niveles de 1980. La tabla siguiente muestra los objetivos de reducción de emisiones de SO₂ para Ontario, Québec, Nueva Brunswick y Nueva Escocia, las cuales alcanzaron o excedieron sus objetivos. En 1998, las provincias, territorios y el gobierno federal firmaron la "Estrategia de Lluvia Ácida Global de Canadá post-2000", comprometiéndose a acciones adicionales. La figura siguiente muestra la evolución de las emisiones de SO₂ (miles de toneladas) para cada provincia canadiense del sector este.

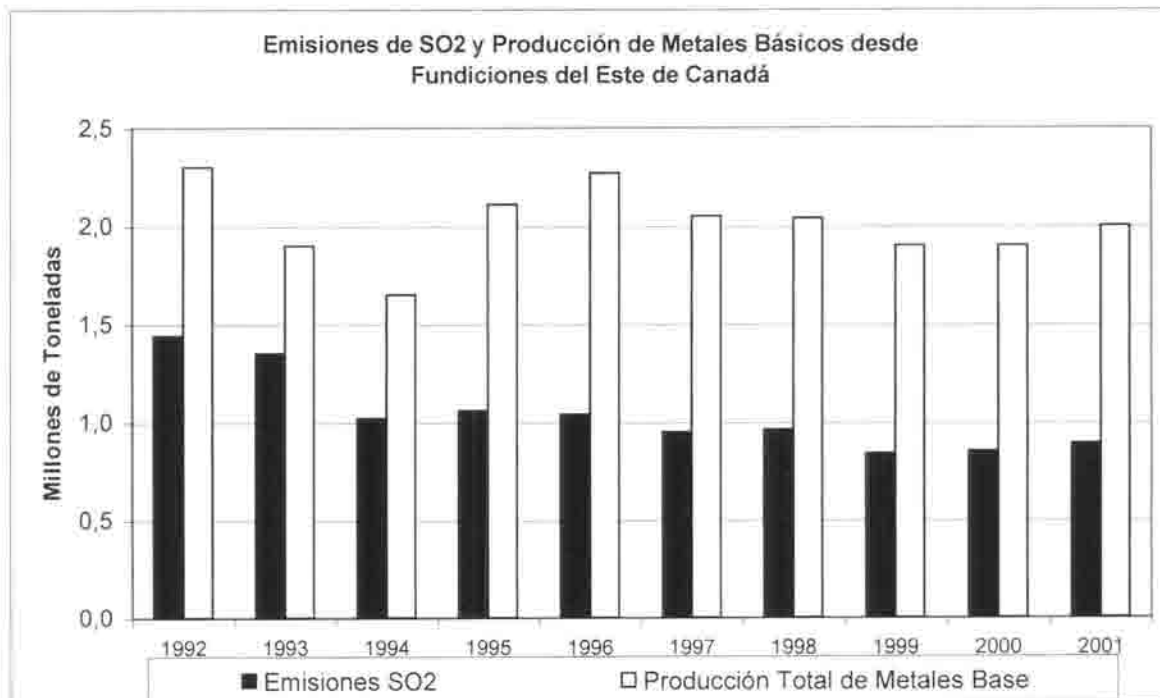
Objetivos de Reducción de Emisiones de SO₂ para Ontario, Québec, Nueva Brunswick y Nueva Escocia⁴⁶

Provincia	Programa de lluvia ácida del Este de Canadá (miles de toneladas)	Nuevo objetivo de la Estrategia de lluvia ácida global de Canadá (miles de toneladas)	Año objetivo
Ontario	885	• 442,5 (50% reducción), desde 2002	2015 ^a
Québec	500	• 300 (40 % reducción), desde 1997 • 250 (50% reducción), desde 2001	2002 2010
Nueva Brunswick	175	• 122,5 (30% reducción) • 87,5 (50% reducción) desde 2001	2005 2010
Nueva Escocia	189	• 142 (25% reducción), desde 2001 • 94,5 (50% reducción acumulada) ^b	2005 2010

^a Ontario ha propuesto y está consultando esta propuesta para adelantar este año objetivo al 2010.

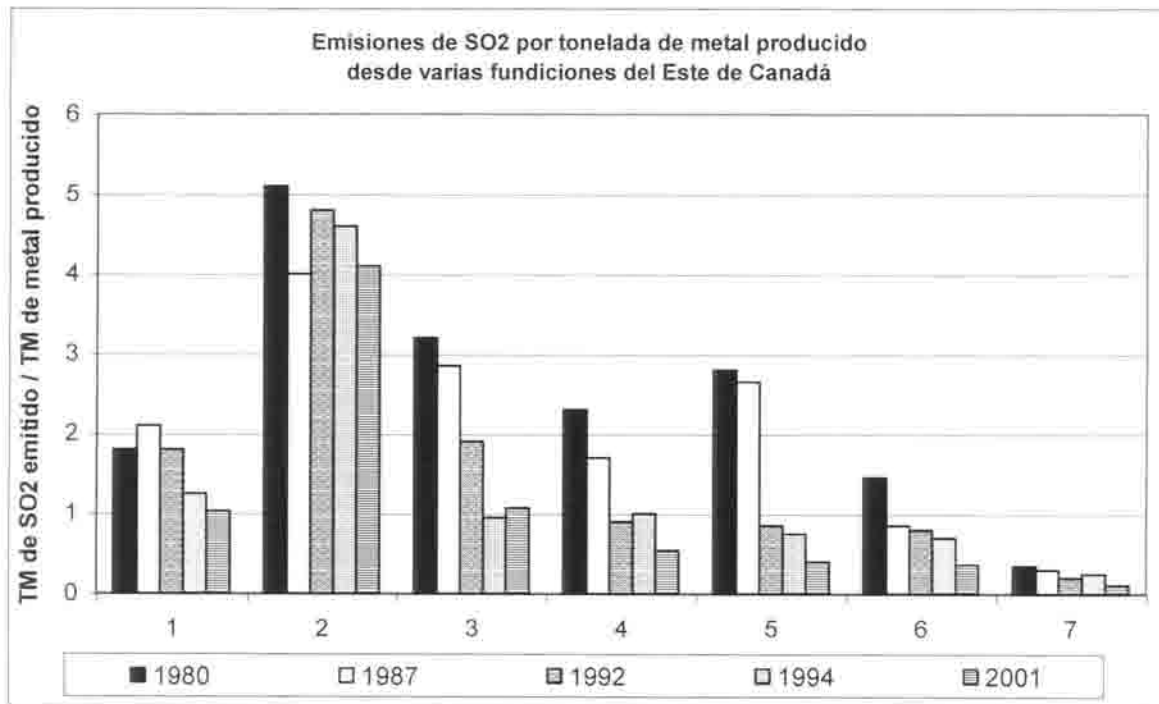
^b Nueva Escocia se compromete a reducir sus emisiones de SO₂ un 25% desde el objetivo existente al año 2005 y reducir sus emisiones en forma adicional para alcanzar una reducción acumulada de 50% al año 2010 desde fuentes existentes.

En las siguientes figuras se muestra la evolución de las emisiones de SO₂ y la producción de metales básicos desde las fundiciones del Este de Canadá entre 1992 y 2001, la evolución de las emisiones de SO₂ por tonelada de producción de metal en varias fundiciones en el Este de Canadá entre 1980 y 2001 (Fytas, 2002) y las emisiones de SO₂ de la industria minera y metalúrgica de metales no-ferrosos de Canadá por provincia.



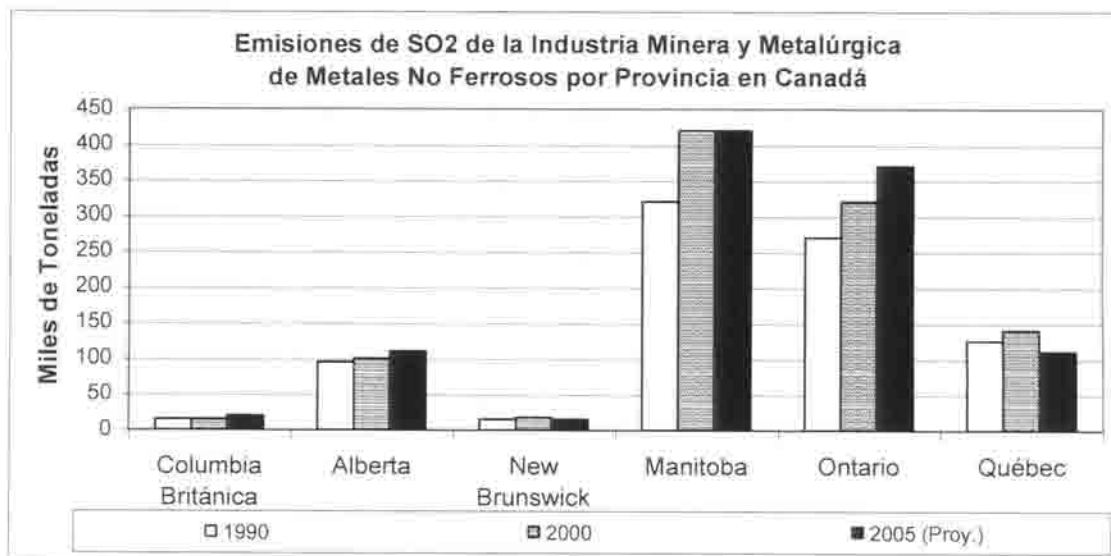
Fuente: www.mining.ca; www.nrcan.gc.ca/mms/

⁴⁶ Fuente: Ministerio de Medioambiente y Energía, 2001, "Annual Progress Report on The Canada-Wide Acid Rain Strategy for Post-2000": http://www.ceme.ca/assets/pdf/acid_rain_e.pdf



1. Hudson Bay Mining and Smelting, Flin Flon, Manitoba (cobre, zinc)
2. Inco Ltd., Thompson, Manitoba (níquel)
3. Inco Ltd., Sudbury, Ontario (cobre, níquel)
4. Falconbridge Ltd., Sudbury, Ontario (níquel, cobre, cobalto)
5. Noranda Minerals Inc., Rouyn-Noranda, Québec (cobre)
6. Noranda Minerals Inc., Murdochville, Québec (cobre)
7. Brunswick Mining and Smelting Ltd., Belledune, New Brunswick (plomo)

Fuente: Fytas (2002), web sites: www.mining.ca, www.noranda.com, www.incoltd.com, www.ec.gc.ca



Emisión de Contaminantes

En 1994, el gobierno y la industria canadiense acordaron voluntariamente el programa ARET (Accelerated Reduction and Elimination of Toxics)⁴⁷ que tenía como objetivo reducir o eliminar, hacia el año 2000, las descargas de 117 sustancias, clasificadas en base a su toxicidad disponible, persistencia y bioacumulación. Esta lista incluyó 30 sustancias persistentes⁴⁸.

Por ejemplo, las emisiones al aire desde el sector minero-metalúrgico en el año 2001 alcanzaron las 2.225 toneladas, lo que representa una reducción de 68,1%, considerando las emisiones del año 1992 (6.985 toneladas). La tabla siguiente resume las emisiones al aire desde el sector minero-metalúrgico para varios elementos, de acuerdo a la información de la Asociación Minera de Canadá. Como se muestra, este sector industrial ha reducido considerablemente las emisiones al aire, principalmente de plomo, cobre, zinc, níquel, entre otros.

Reducción de emisiones al aire desde la industria minero-metalúrgica en Canadá (toneladas)

	As	Cd	Cu	H ₂ S	Pb	Hg	Ni	Zn	Cr	Co
Año base, 1992	303,6	117,4	932,0	309,5	1.656,9	26,9	1.280,0	2.332,5	10,4	15,7
2001	206,3	65,7	391,6	130,1	413,7	2,2	288,0	699,0	21,6	7,2
Variación respecto año base	-32,1%	-44%	-58%	-66,7%	-75 %	-92%	-77,5%	-70,0%	115,4%	-54%
Objetivo, 2008	41,6	8,8	89,8	-	202,9	1,7	1,01	263,2	2,0	-

Fuente: Asociación Minera de Canadá, www.mining.ca

Unión Europea

La producción de cobre de mina de la UE se ha mantenido en los últimos años, alcanzando en el año 2002 a 163.700 toneladas (1,2% mundial), principalmente de Portugal (47,2%), Suecia (44%) y el resto de Finlandia. Esta aumentará considerablemente cuando ingresen los nuevos estados miembros de Europa del Este que producen cobre: Polonia (458.400 ton), Bulgaria (87.700 ton), Turquía (74.700 ton) y Rumania (19.600 ton). Por su parte, la producción de cobre de fundición alcanza a 1,3 millones de toneladas (10,8% mundial), principalmente a través de las siguientes empresas:

⁴⁷ Programa ARET: <http://www.ec.gc.ca/napp/aret/en/index.cfm>

⁴⁸ Las metas a largo plazo fueron: a) eliminación de descargas de 30 sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas, b) reducción de otras 87 sustancias tóxicas a niveles insuficientes para causar daño. Las metas a corto plazo (año 2000) fueron: a) reducción las emisiones de sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas en un 90%, b) reducir todas las otras emisiones de sustancias tóxicas en un 50%.

País	Ubicación	Empresa	Capacidad de Producción (ton / año)	Alimentación
Alemania	Hamburgo	Norddeutsche Affinerie	330.000	Concentrados de cobre (60%), y chatarra de cobre y residuos de procesos industriales
España	Huelva	Atlantic Copper	298.000	Concentrados y chatarra
Suecia	Ronnskar	Boliden	230.000	Concentrados y material reciclado
Finlandia	Harjavalta	Outokumpu	170.000	Concentrados
Bélgica	Beerse Antwerp- Hoboken	Metallo-Chimique NV Umicore	80.000 50.000	Sólo recicla materiales Sólo recicla materiales
Austria	Brixlegg	Austria Metall AG	78.000	Sólo recicla materiales
Noruega	Kristiansand	Nikkelverk A/S	30.500	Sólo recicla materiales

Nota: - Las fundiciones de Alemania, España, Suecia y Finlandia utilizan la tecnología de fusión Flash Outokumpu combinada con convertidores Peirce Smith.
- El 20% del cobre producido en la fundición de Boliden proviene desde el material reciclado. Además produce 30.000 ton/año de plomo.

En marzo del año 2001, la UE inició el Programa del Aire Limpio en Europa (CAFE en inglés⁴⁹), el cual es un programa de análisis técnico y desarrollo de políticas, con el objetivo de generar una Estrategia Temática para la UE hacia el año 2005, bajo el Sexto Programa de Acción Ambiental. Esta iniciativa involucra⁵⁰:

- Una revisión de la implementación de las directivas de calidad del aire y sus efectos sobre la calidad del aire actual.
- Mejorar el monitoreo de las directivas de calidad del aire y la entrega de información al público.
- Revisar y actualizar los límites de calidad del aire y emisiones, en función de las últimas evidencias respecto a efecto de los contaminantes sobre los humanos y el medioambiente y tendencias proyectadas sobre actividad económica, emisiones y calidad del aire futuras comparadas con objetivos existentes.
- Proponer una revisión apropiada a los objetivos de calidad del aire y una estrategia costo-efecto para lograr estos objetivos. Esto cubre todos los contaminantes, pero prioriza las partículas y el ozono.
- El desarrollo de mejores sistemas para recopilar información, modelación y predicción.

Por otra parte, en 1996, la UE promulgó la Directiva Marco "Prevención y Control Integral de la Contaminación", IPPC en inglés, la cual fue promulgada en septiembre de 1996 (96/61/EC) y entró en vigor en octubre de 1999 para nuevas instalaciones y en octubre del 2007 para plantas existentes. Su objetivo es entregar medidas y procedimientos para adoptar un enfoque integral para proteger la salud pública y el

⁴⁹The Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Towards a Thematic Strategy for Air Quality. http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/pdf/2001/com2001_0245en01.pdf

⁵⁰The Clean Air for Europe (CAFE) Programme. http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/pdf/2001/com2001_0245en01.pdf

medioambiente, previniendo o minimizando las emisiones a todos los medios desde instalaciones industriales⁵¹.

Todas las instalaciones industriales, incluyendo el sector de metales no ferrosos, deben obtener una autorización (permiso) desde las autoridades de los países miembros de la UE, sin el cual ellas no pueden operar. El permiso está basado en el concepto de Mejores Técnicas Disponibles (BAT en inglés)⁵².

Adicionalmente, la directiva fue seguida por el desarrollo de Notas Referenciales sobre BAT para todos los sectores, incluyendo el sector de metales no ferrosos, las que se espera que estén terminadas hacia el año 2005, aunque ya varias están disponibles, por ejemplo, para el sector de metales no ferrosos, metales ferrosos, manejo de relaves y residuos mineros, entre otros⁵³.

Estas notas referenciales ayudarán a las autoridades en su decisión, sin embargo, la decisión final se basará en el Artículo N° 9 de la Directiva, que establece que la autoridad debe tomar en cuenta: a) las características técnicas de la instalación; b) su ubicación geográfica; y c) las condiciones ambientales locales. Este enfoque descentralizado es balanceado por el hecho que, de acuerdo al Artículo N° 18 de la Directiva, existen casos donde los valores límites de emisiones de la UE se justifican.

Otro objetivo de esta directiva es obtener mejor información sobre las emisiones desde las diferentes instalaciones industriales, que pueda ser usada por legisladores, así como por la opinión pública. En este sentido, la Directiva se ajusta al Registro de Emisiones de Contaminantes de Europa (EPER, en inglés). En Junio de 2003, los Estados Miembro debían entregar su primer informe con las emisiones del año 2001. El próximo informe será entregado el año 2006 y cubrirá las emisiones del año 2004⁵⁴.

Al respecto, en julio de 2000 la UE adoptó la decisión sobre la implementación de un Registro de Emisiones de Contaminantes en Europa (EPER), de acuerdo al artículo 15 de la Directiva del Consejo (96/61/EC), concerniente a la Prevención y Control Integral de la Contaminación.

Además, el año 2001 la UE promulgó la Directiva N° 81 sobre límites nacionales de emisiones de determinados contaminantes atmosféricos responsables de acidificación, eutroficación y contaminación de la capa de ozono (SO₂, NO_x, VOCs y amonía)⁵⁵. En el caso del SO₂, los Estados Miembro deben reducir sus emisiones hacia el año 2010 a 3,85 millones de toneladas. Cabe señalar que, en el año 1993 las emisiones de SO₂ en la UE alcanzaron a 9,6 millones de toneladas, donde el sector de metales no ferrosos tuvo una participación de un 2,6%, mientras que en el año 1990 las emisiones de SO₂ alcanzaban a 17,1 millones de toneladas, con una participación de 3% (587.100 ton)

⁵¹ Directiva 96/61/EC. <http://www.eurometaux.org/files/Dir%201996%2061-130005A.pdf>. Otra directiva similar, pero que aborda sólo las emisiones al aire utilizando la Mejor Tecnología Disponible es la 84/360 de 1984.

⁵² Directiva IPPC de 1996. <http://europa.eu.int/comm/environment/ippe/>

⁵³ Documentos BAT. <http://ecppcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

⁵⁴ Información sobre EPER en <http://europa.eu.int/comm/environment/ippe/eper/index.htm>

⁵⁵ Directiva 2001/81/EC. http://europa.eu.int/eur-lex/pris/es/obj/dat/2001/1_309/E_30920011127es00220030.pdf

por parte del sector. Es decir, el sector ha reducido considerablemente sus emisiones de SO₂ al aire.

En materia ambiental, tal como se ha señalado más arriba, las fundiciones de cobre tienen que cumplir estrictas regulaciones ambientales, donde destacan como las más importantes:

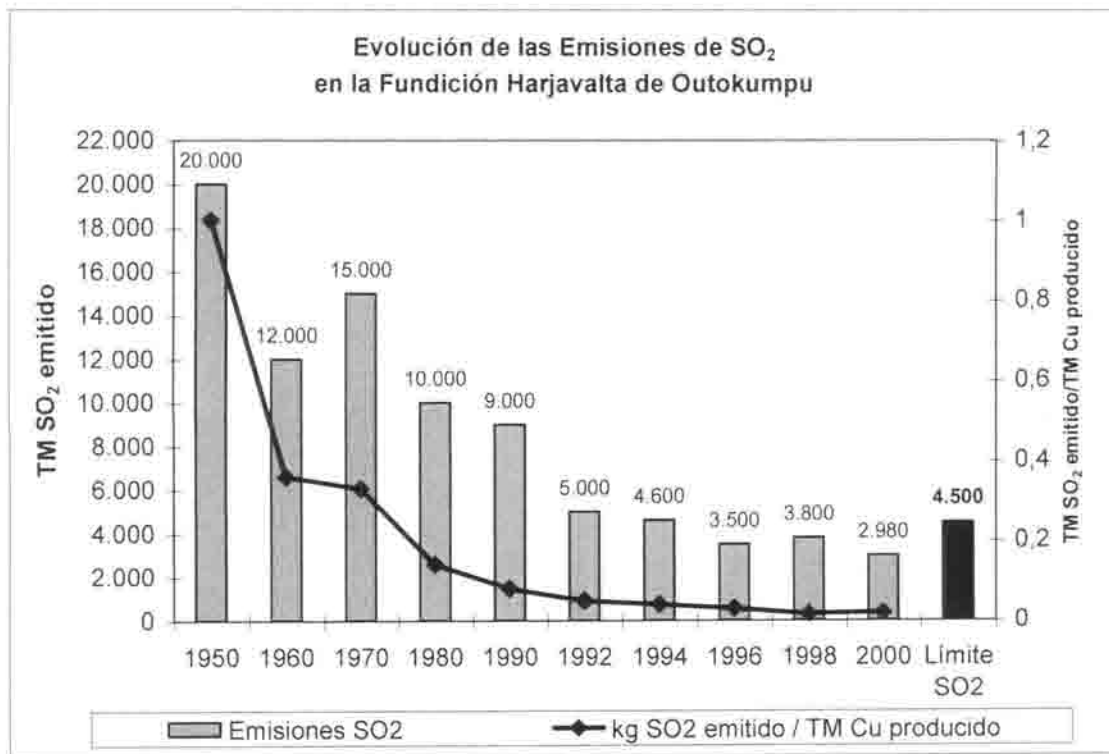
- Programa del Aire Limpio en Europa (CAFE en inglés) del año 2001.
- Directiva Marco "Prevención y Control Integral de la Contaminación" (IPPC en inglés) del año 1996
- Directiva N° 81 sobre Límites Nacionales de Emisiones de Determinados Contaminantes Atmosféricos Responsables de Acidificación, Eutroficación y Contaminación de la Capa de Ozono (SO₂, NO_x, VOCs y amonía) del año 2001.
- 4° Directiva para regular las emisiones de cadmio, arsénico y níquel, la cual entraría en vigor el año 2005 (en preparación).

Para hacer frente a estas regulaciones, las fundiciones de cobre tienen una captación de azufre que varía entre 97 y 99,8%, y todas poseen plantas de doble contacto para producir ácido sulfúrico. La fundición de Boliden en Suecia produce ácido sulfúrico (600.000 ton/año) y SO₂ líquido (50.000 ton/año)⁵⁶, y actualmente emite 3.954 toneladas de SO₂, esto es, 17,2 Kg de SO₂ por tonelada de cobre producido, uno de los valores más bajos del mundo⁵⁷. Similar situación ocurre en la fundición Harjavalta de Outokumpu en Finlandia, cuya gestión ambiental se analiza a continuación.

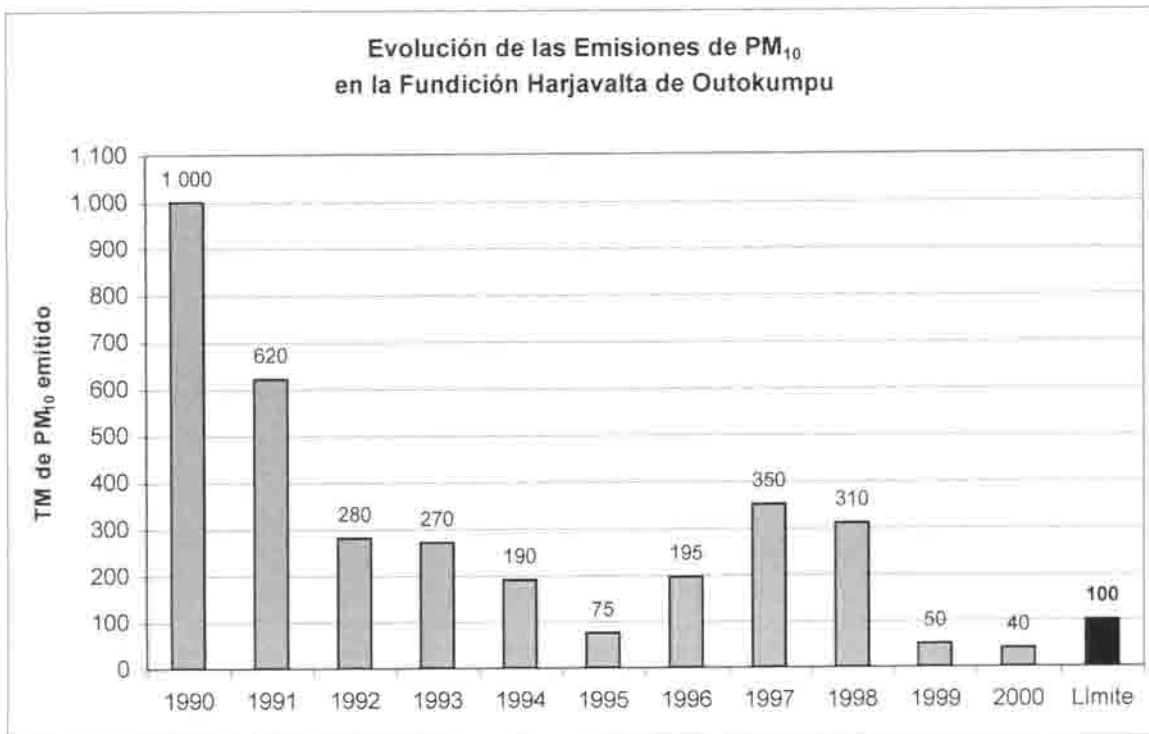
Como se muestra en las siguientes figuras, las emisiones de SO₂ y material particulado de la fundición finlandesa se han reducido extraordinariamente gracias a un programa de control de la contaminación que comenzó en 1993, con un costo de FIM 150 millones, el que incluyó además, una nueva chimenea de 140 metros de altura, así como un aumento de la capacidad de fusión a 160.000 ton/año (1,6 veces el valor anterior). Esta fundición utiliza la tecnología de fusión flash desarrollada por Outokumpu, que permite lograr una emisión relativa de 0,02 ton SO₂/ton Cu blister producido, lo que representa una fijación de azufre cercana al 90%.

⁵⁶ Más detalles en: <http://www.boliden.com/Ronnskar/pdf/Ronnskar2003.pdf>

⁵⁷ El límite de emisión es 4 500 toneladas. Fuente: www.boliden.com



Fuente: www.outokumpu.fi



Fuente: www.outokumpu.fi

Japón

Actualmente, Japón es el mayor productor de cobre de fundición, con 1,5 millones de toneladas (12,9% del total mundial). Cuenta con 6 grandes fundiciones "maquiladoras", debido a que, en los últimos años el país no ha producido cobre de mina.

Compañía	Ubicación	Capacidad de Producción (ton Cu/año)	Tecnología	
			Fusión	Conversión
Dowa Mining	Kosaka	80.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith
Mitsubishi Materials	Naoshima	270.000	Mitsubishi continuo	Mitsubishi continuo
Sumitomo Metal	Toyo	300.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith
Nippon Mining	Saganoseki	440.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith
Onahama Smelting	Onahama	290.000	Horno reverbero	Peirce Smith
Hibi Kyodo Smelting	Tamano	220.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith

Todas las fundiciones poseen plantas de doble contacto para la producción de ácido sulfúrico, excepto las fundiciones de Kosaka y Naoshima, que poseen plantas de contacto simple. La captura de azufre alcanza al 99%, ya que utilizan modernas tecnologías para la producción de cobre, salvo la fundición de Onahama, que todavía utiliza un horno de reverbero en el proceso de fusión. Sin embargo, ésta también tiene una alta captación de azufre, sobre 99%, ya que los gases desde el horno son tratados en un scrubber con una solución de hidróxido de calcio para producir yeso, el cual se vende en el mercado local, mientras los gases del convertidor son tratados en forma convencional en una planta de ácido sulfúrico.

Por su parte, en Kosaka los gases fugitivos son desulfurizados usando el proceso Dowa, a través de la absorción en sulfato de aluminio básico, produciendo yeso como producto final. Este mismo proceso ha sido usado en la fundición de Naoshima desde 1994, produciendo 60.000 ton/año de yeso. En la fundición de Toyo, los gases fugitivos generados en los procesos de fusión y conversión son capturados por un sistema compuesto de 34 campanas⁵⁸. Luego de remover los gases desde el ambiente de trabajo, éstos son enviados a una planta de desulfurización, donde son lavados con una pulpa de Mg(OH)₂ para eliminar el material particulado y el SO₂, antes de que se emitan a la atmósfera.

En Japón existen medidas regulatorias para contaminantes emitidos al aire desde fábricas, incluyendo fundiciones y otros sitios fuera de la regulación, donde destacan las siguientes:

⁵⁸ Algunas campanas capturan los gases fugitivos producidos en el horno flash durante el proceso de recolección de mata, y las campanas secundarias fijadas a los convertidores capturan los gases fugitivos producidos durante el carguío de mata al convertidor, el escoriado, y la descarga de cobre blister.

Estándar de emisión de óxidos de azufre⁵⁹

Este estándar se aplica a cada industria que emita óxidos de azufre, principalmente industrias de combustión de combustibles y minerales, así como incineradores de residuos. El estándar de emisión se calcula insertando el valor (K) en la siguiente ecuación, el cual es específico para cada región de Japón donde está localizada la industria:

$$q \text{ (emisión aceptable)} = K \cdot 10^{-3} \cdot H_e^2$$

donde, q es el volumen horario de óxidos de azufre emitidos (Nm³/h de SO₂) y H_e es la altura efectiva de la chimenea (m), es decir, la suma de la altura real de la chimenea y la altura de ascenso del humo. El valor de K, que varía de acuerdo a la región en Japón, considerando las características sitio específicas en donde se encuentra instalada la operación, determina en forma inversamente proporcional el grado de regulación, es decir, una reducción en el valor de K significa un estándar de control más riguroso.

El estándar de emisión general para óxidos de azufre (valor K) está normado desde el 28 de septiembre de 1976, y actualmente Japón está regulado bajo 16 valores de K, que varían entre 3 y 17,5. Por ejemplo, el área de Toyo/Komatsu tiene un K de 5, mientras el área de Nagana tiene un valor de 14,5. Además, existen estándares de emisión especiales más estrictos, que varían entre 1,17 y 2,34 para 28 áreas de Japón.

Por otra parte, desde septiembre de 1976 existe una regulación para la calidad del combustible, establecida en el artículo 15 de la Ley de Control de la Contaminación del Aire, el cual permite un contenido de azufre que varía entre 0,5 y 1,2%.

Estándar de emisión de partículas⁶⁰

Este estándar se aplica a cada industria que emite partículas, como las señaladas en el punto anterior, más los hornos eléctricos. Actualmente, en Japón existen 32 tipos de instalaciones que están reguladas para este elemento, donde el estándar (concentración) depende del tipo de equipo y la capacidad, entre otros. Existe un estándar de emisión general que varía entre 0,04 – 0,7 g/Nm³ y un valor de emisión especial, más estricto, que varía entre 0,03 y 0,2 g/Nm³.

Además, desde junio de 1977 existen estándares de emisión para varias sustancias tóxicas, entre ellas, el cadmio y sus compuestos con un valor de 1,0 mg/Nm³, y para el plomo y sus compuestos con un valor de 10 mg/Nm³. Para ambos casos, cada área o prefectura de Japón puede decretar valores más estrictos, de acuerdo a sus características específicas.

⁵⁹ Más información en Ministerio del Medioambiente de Japón: <http://www.env.go.jp/en/air/regulation/air.html>

⁶⁰ Más información en: <http://www.env.go.jp/en/air/regulation/air4.html>

Como ejemplo, la tabla siguiente muestra la regulación (en paréntesis) y valores promedio de emisión de la fundición de Sumitomo en Toyo en los últimos años, que son más bajos que los límites permitidos:

Regulación	Volumen Gas (Nm ³ /h)	SO _x (ppm)	NO _x (ppm)	Partículas sólidas suspendidas (g/Nm ³)
Corriente				
Secador	(86.000) 63.000 – 81.000	(535) 180 – 300	(155) 40 – 100	(0,15) 0,02 – 0,04
Planta de Ácido	(170.000) 141.000 – 157.000	(60) 1 – 15	(112) 5 – 20	(0,10) < 0,01
Gas fugitivo	(330.000) 278.000 – 360.000	(50) 1 – 5	- -	(0,20) < 0,03
Cantidad				
Fundición	(SO _x : 80 Nm ³ /h) SO _x : 10 – 25 Nm ³ /h			

Sumitomo Metal Mining ha desarrollado un proceso para recuperar arsénico y cadmio desde los polvos de fundición. El arsénico es recuperado como trióxido de arsénico puro en una planta con una capacidad de 720 ton/año, mientras que el cadmio se recupera como carbonato de cadmio, el cual se vende en el mercado local para la producción de cadmio metálico.

Otros Países⁶¹

De acuerdo a un estudio del CRU, en el año 1992 sólo un 50% de la capacidad de fusión del mundo occidental tenía una captura de azufre mayor a un 90%, mientras que en el año 2001 este porcentaje aumentó a un 70%. Al mismo tiempo, el porcentaje de fundiciones que no tenían captura bajó desde un 17% en el año 1992 a sólo 5,5% de la capacidad de fusión del mundo occidental en el año 2001.

Como se mostró anteriormente, el desarrollo de regulaciones más estrictas en Norteamérica, Japón y los países miembro de la Unión Europea ha generado un mayor control en las emisiones de contaminantes, principalmente SO₂, desde fundiciones de cobre, donde las autoridades y la opinión pública continúan presionando para alcanzar niveles de captación de azufre sobre 99%.

Lo anterior, también ha tenido sus efectos en países en desarrollo, donde las instalaciones ubicadas cerca de asentamientos humanos han debido realizar planes de modernización para reducir sus emisiones a la atmósfera. Estos planes de modernización a menudo han estado asociados al desarrollo de tecnologías de fusión/conversión. La siguiente tabla muestra las tecnologías usadas en varias fundiciones de cobre de países no analizados anteriormente.

Algunas fundiciones operando hornos reverbero tienen una captura parcial de azufre, ya que tratan sólo los gases de conversión en una planta de ácido, mientras los gases

⁶¹ Más detalles sobre el mercado de fundiciones ver estudio "Perspectivas de la Industria Mundial y Nacional de Fundiciones de Cobre, Período 2002-2010. Fuente: www.cochilco.cl

de baja concentración del horno reverbero son emitidos a la atmósfera, como es el caso de la fundición de Palabora en Sudáfrica.

Los procesos Isasmelt y Contop son tecnologías que permiten aumentar la captura de azufre cuando reemplazan a hornos reverbero, como es el caso de la fundición Mont Isa en Australia, la cual reemplazó el horno reverbero por el proceso de fusión Isasmelt en 1992 y actualmente tiene una captación de azufre de 95%.

Como se muestra en la tabla, la mayoría de las fundiciones utiliza convertidores Peirce Smith en la etapa de conversión, algunas de ellas con modificaciones, como es el caso de fundiciones rusas. Este equipo permite una captura global entre 90 y 95%, pero esto todavía es considerando insuficiente. Los convertidores Hoboken y El Teniente fueron desarrollados a partir del diseño básico de un convertidor Peirce Smith, por lo tanto tienen el mismo problema respecto del control de emisiones de gases fugitivos.

En Rusia y Kazajstán existen varias fundiciones que operan hornos reverbero y tipo blast y que tienen algún grado de captura de azufre, ya que la producción de ácido proviene del tratamiento de los gases de conversión. Por ejemplo, en la fundición de Kirovgrad en Rusia la captura de azufre es de 40%.

Entre los años 1970 y 1980, varias fundiciones se modernizaron con la introducción de la tecnología Vanyukov, desarrollada por Rusia, la cual permite hasta una captura de azufre entre 80 y 85%, como es el caso de la fundición de Sredneuralsk. Sin embargo, en varias instalaciones que usan esta tecnología, como la fundición de Norilsk, los ineficientes sistemas de captación de gases y recolección de polvos continúan causando problemas. En Kazajstán, la fundición de Balkhash que todavía opera un horno reverbero, captura sólo cerca de 45% de los gases y tiene problemas con la captación de polvo y gases fugitivos.

En Perú, la fundición de Ilo, de propiedad de Southern Perú, está en un proceso de modernización que permita cumplir las regulaciones ambientales que impuso el Gobierno peruano a través del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), el cual obliga a la fundición a lograr una captura de azufre de 92% hacia el año 2007. Actualmente la fundición tiene una captura de 28%⁶². Por su parte, la fundición La Oroya también se encuentra en un proceso de modernización, en el contexto del programa PAMA, el cual incluye la construcción de una planta de ácido sulfúrico.

En el caso de China, la industria de fundición de cobre tuvo un desarrollo espectacular en los últimos años, pasando de 444.000 TM en 1993 (4,6% del total mundial) a 1,2 millones en el año 2002 (10,2% del total mundial). Aunque existen más de 40 fundiciones en el país, sólo cuatro tienen una producción superior a las 100 mil TM, como se muestra en la tabla siguiente. Estas últimas han alcanzado una alta captación de azufre (sobre 90%), en muchos casos debido a los planes de modernización

⁶² El proyecto se desarrollará en dos o tres fases, dependiendo de la evolución de los mercados internacionales del cobre, en la primera fase se pretende asegurar la captura del SO₂ para posteriormente lograr incrementos de capacidad de fusión de 1,15 millones ton/año de concentrados a 1,2, 1,5 o posiblemente 1,83 millones ton/año. El desembolso de capital se calcula entre US\$ 400 y US\$ 600 millones. Fuente: <http://www.elcomercio Peru.com.pe>

realizados en los últimos años. En 1999, la fundición Daye reemplazó su horno reverbero por un reactor Noranda. En 1986, la fundición Guixi fue la primera en China en usar la tecnología flash Outokumpu, la cual también se utiliza en la fundición de Jinlong, construida en 1997 para reemplazar la fundición de Tongling. Por su parte, la fundición de Yunnan está instalando la tecnología Isasmelt para reemplazar los hornos eléctricos.

El resto de las fundiciones en China son de pequeña escala y se caracterizan por ser de propiedad estatal, bastante antiguas y contaminantes. Sólo 4 tienen capacidad entre 35.000 y 75.000 TM. La excepción es la fundición de Zhongtiaoshan, construida en el año 2000, que utiliza un reactor Ausmelt para las operaciones de fusión y conversión, y que reemplazó a una antigua planta en Yuanqu.

En Corea del Sur, desde el comienzo de sus operación en 1979, la fundición Onsan ha tratado las gases de proceso del horno flash Outokumpu y de los convertidores en una planta de ácido sulfúrico de doble contacto, lo que le ha permitido tener una emisión de SO_x de 400 ppm. Adicionalmente, cuenta con una planta de desulfurización, instalada en 1988 para recolectar los gases fugitivos desde los procesos de la fundición. Esta emisión estaba muy por debajo de la regulación coreana de 1.800 ppm en 1987; 700 en 1989 y 500 hasta 1994, cuando el gobierno redujo la norma a 200 ppm. Entonces, se construyó una segunda planta de desulfurización para tratar los gases de salida de la planta de ácido sulfúrico, lo cual permite lograr una emisión menor a 50 ppm de SO_x.

Tecnologías de fusión/conversión en diversas fundiciones de cobre

País	Producción Cobre Fundición (TM. - 2002)	Fundición	Capacidad Producción (ton/año)	Tecnología	
				Fusión	Conversión
China	1.187.100	Jinlong, Jinlong Copper	140.000	Flash Outokumpu	-
		Guixi, Jianxi Copper	200.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith
		Daye, Daye Nonferrous	150.000	Reactor Noranda	Peirce Smith
		Yunnan, Yunnan Copper	150.000	Horno eléctrico	Peirce Smith
		Baiyin, Baiyin Nonferrous	75.000	Proceso Baiyin ^a	-
		Huludao North, Huludao Zinc	65.000	Blast furnace	Peirce Smith
		Jinchang, Tongling Nonferrous	75.000	Blast furnace	Peirce Smith
		Zhongtiaoshan, Houma Yidi,	35.000	Reactor Ausmelt	-
Rusia	758.000	Monchegorsk, Severonickel	90.000	Reverbero	Peirce Smith
		Nadezhda, Norilsk Nickel	200.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith ^b
		Norilsk, Norilsk Nickel	400.000	Vanyukov	Peirce Smith ^b
		Sredneuralsk, Urals Minino	140.000	Vanyukov	Peirce Smith ^b
		Mednogorsk, Mednogork Copper	45.000	Blast furnace	Peirce Smith ^b
		Krasnouralsk, Svyatogor	120.000	Reverbero	Peirce Smith ^b
		Kirovgrad, Kirovgrad Copper	150.000	Reverbero	Peirce Smith ^b
Australia	447.700	Olympic Dam, Western Mining	220.000	Flash Outokumpu	-
		Mount Isa, Mount Isa Mines	270.000	Isasmelt	Peirce Smith
		Port Kembla, Port Kembla Co.	-	Reactor Noranda	Peirce Smith
Kazajstán	447.100	Zhezkazgan, Kazakhmys	300.000	Eléctrico	Peirce Smith
		Balkhash, Kazakhmys	200.000	Vanyukov/Reverbero	Peirce Smith
		Irtysk, Kazakhmys	40.000	Kivcet / blast	Peirce Smith
Corea del Sur	390.000	Onsan, LG – Nikko Copper	430.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith

Perú	380.800	La Oroya, Doe Run Peru llo, SPCC	75.000 330.000	Reverbero Reverbero/Conv. Teniente	Peirce Smith Peirce Smith
México	337.000	La Caridad, Grupo México San Luis de Potosí, Immsa	330.000 50.000	Flash Outokumpu Blast furnace	Peirce Smith Peirce Smith
Zambia	304.800	Mufulira, Mopani Copper Mines Nikana, Smelterco.	200.000 300.000	Eléctrico Reverbero/Conv. Teniente	Peirce Smith Peirce Smith
India	251.400	Tuticorin, Sterlite Industries Dahej, Indo Gulf Fertilisers Khetri, Hindustan Copper	120.000 130.000 36.000	Isasmelt Flash Outokumpu Flash Outokumpu	- - Peirce Smith
Brasil	219.600	Dias d'Avila, Caraiba Metais	220.000	Flash Outokumpu	Hoboken
Indonesia	211.200	Gresik, PT Smelting	230.000	Mitsubishi continuo	Mitsubishi continuo
Filipinas	137.800	Leyte, Pasar	210.000	Flash Outokumpu	Peirce Smith
Sudáfrica	132.700	Palabora, Palabora Mining	138.000	Reverbero	Peirce Smith

^a modificación de un horno reverbero desarrollado en la fundición para tratar los concentrados de baja ley disponibles localmente.

^b tipo Peirce Smith

Fuente: Cochilco, CRU, USGS

Anexo 3

Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) desde la Industria Minera Canadiense

En 1990, la mayoría de las emisiones de GEI del sector minero de metales correspondieron a CO₂ (59 %), con una pequeña cantidad (< 1%) de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El 40% restante de las emisiones indirectas de CO₂ provinieron del uso de electricidad. Por otra parte, para el mismo año, el 68 % de las emisiones directas en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos fueron CO₂, con menos de 1% representado por CH₄ y N₂O, y un 31 % emitida indirectamente a través del uso de electricidad.

En 1999, la minería metálica fue responsable del 0,97% del consumo total de energía canadiense, lo cual equivale a 2,5 % del consumo de energía industrial. Este consumo correspondió principalmente al sector de minería metálica y no metálica (63%). En 1990, éste representó un 72%.

En 1999, las emisiones industriales de GEI de Canadá fueron un 6,4%, de las cuales un 52% se originó en la minería metálica y un 48% en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos. Las emisiones de este último sector representaron un 2,2% del inventario total de GEI del país. Dada la relación entre el consumo de energía y las emisiones de GEI, las compañías mineras canadienses se han comprometido a reducir sus consumos de energía por unidad de producción en un 1% al año, para el período 1995–2005. En el año 1999, la industria minera (excluyendo al aluminio y magnesio) fue responsable de aproximadamente:

- 5,2% del consumo de energía industrial
- 6,4% de las emisiones industriales totales de CO₂
- 2,1% de las emisiones totales de CO₂ de Canadá

Cambios en el consumo de energía en el período 1990-1999:

- 25,6% de reducción en el sector de minería metálica
- 2,8 % de aumento en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos

Mejoras en la intensidad de energía (energía por unidad de producto) en el período 1990-1999:

- 8,2% en el sector de minería metálica (energía/concentrado)
- 11,9% en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos (energía/exportaciones de metal refinado y mata)

Cambios en las emisiones totales de GEI desde 1990-1999 (incluye emisiones directas e indirectas de CO₂, y otros GEI (CH₄ y N₂O)):

- 24,7% de reducción en el sector de minería metálica
- 1,8% de reducción en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos

Mejoras en la intensidad de GEI en el período 1990-1999 (emisiones de GEI por unidad de producto):

- 13,8% en el sector de minería metálica
- 15,9% en el sector de fundición y refinación de metales no ferrosos

Gracias a los esfuerzos de la Industria Minera Canadiense y al mejor manejo de la energía por parte de las compañías mineras, el sector minero ha reducido en forma significativa sus emisiones de GEI en el período 1990-99. Los logros del sector han ayudado al país a cumplir sus compromisos internacionales sobre cambio climático y han traído muchos beneficios – ambientales y competitivos – que hacen de Canadá uno de los países líderes en su compromiso con el medioambiente⁶³.

⁶³ 16 de las 32 compañías mineras de canadienses, miembros de la Asociación Minera de Canadá, que representan el mayor consumo de energía en el sector minero, están participando en el Programa Desafío y Registro Voluntario (VCR), una iniciativa federal para reducir las emisiones de GEI. Fuente: Fytas (2002) y www.mining.ca