

Comité Operativo

Revisión de Norma de Emisión para fundiciones y fuentes emisoras de arsénico

Presentación Comité Operativo | SESIÓN N°7/2022
jueves 20 de octubre, 2022

Ivonne Moreno
División de Calidad del Aire
Ministerio del Medio Ambiente



Objetivos de la reunión

Conocer los resultados del Estudio “Antecedentes para la elaboración de una norma para Arsénico y la Revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico”, referente a la revisión de la normativa internacional, mejor tecnología disponible para control de emisiones y los escenarios regulatorios propuestos, presentación que quedo pendiente en la sesión anterior.

Tabla

- Presentación: Resultados del estudio y análisis comparativo
Expositor: Sr. Luis Cifuentes, Director GreenLab, Dictuc S.A.



Próximas Reuniones

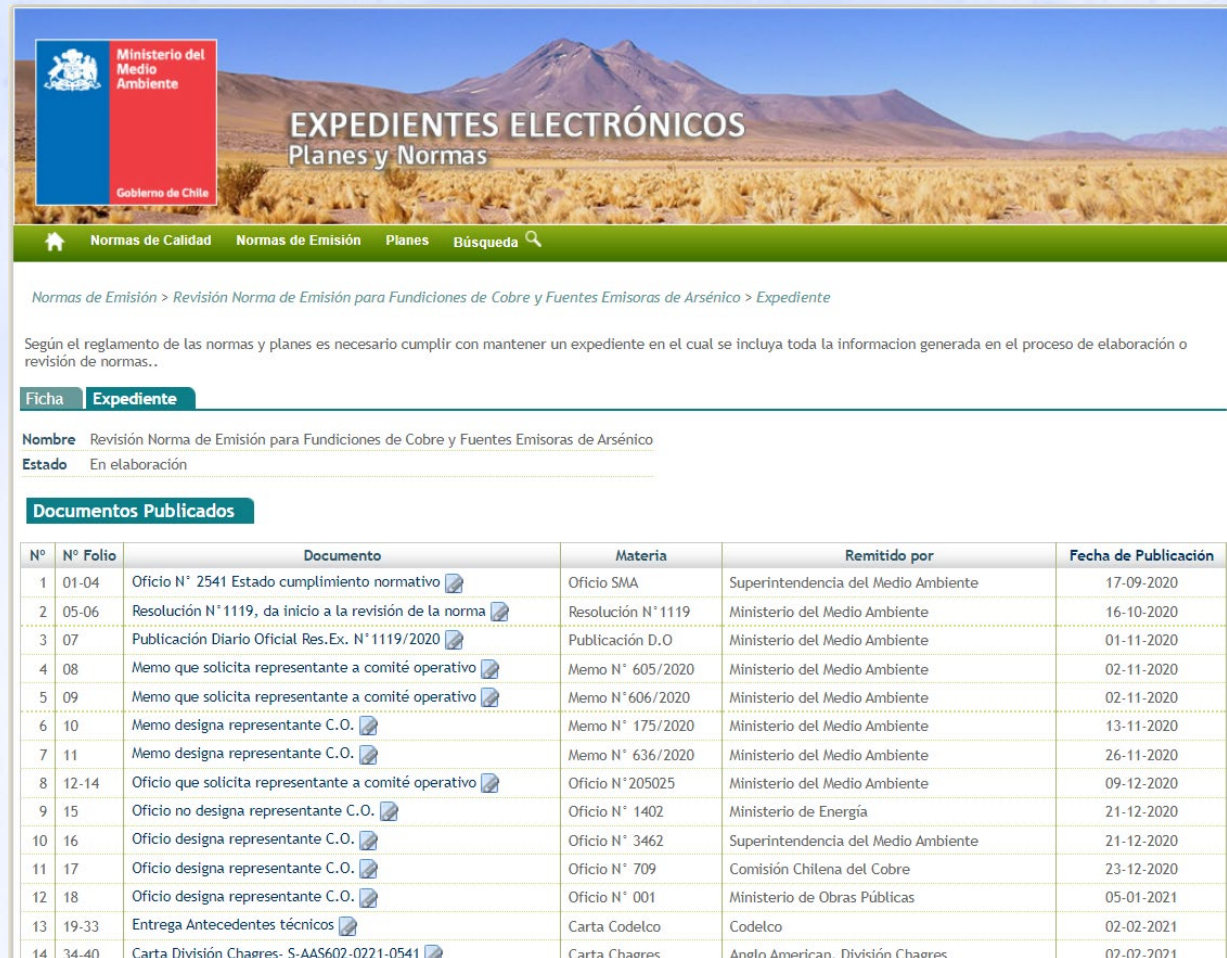
Actividad	Temas a tratar	Fecha
1° Sesión C.O.A	Obj: Presentación de los comités operativos ampliados de la elaboración de una norma para Arsénico y de la Revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.	Última semana de octubre
8° reunión C.O.	Obj: Criterios de la revisión y metodología para abordar la revisión para fuentes existentes y nuevas	2da semana de noviembre



Expediente electrónico

000762 vta

https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=937836



The screenshot displays the website interface for the Chilean Ministry of Environment (Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile). The main header features a landscape image with the text "EXPEDIENTES ELECTRÓNICOS Planes y Normas". A navigation menu includes "Normas de Calidad", "Normas de Emisión", "Planes", and "Búsqueda". The breadcrumb trail indicates the current page is "Normas de Emisión > Revisión Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico > Expediente". A descriptive paragraph explains the purpose of the file system. Below this, a tabbed interface shows "Expediente" as the active tab. The record details are as follows:

Nombre: Revisión Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico
Estado: En elaboración

Documentos Publicados

N°	N° Folio	Documento	Materia	Remitido por	Fecha de Publicación
1	01-04	Oficio N° 2541 Estado cumplimiento normativo	Oficio SMA	Superintendencia del Medio Ambiente	17-09-2020
2	05-06	Resolución N° 1119, da inicio a la revisión de la norma	Resolución N° 1119	Ministerio del Medio Ambiente	16-10-2020
3	07	Publicación Diario Oficial Res.Ex. N° 1119/2020	Publicación D.O	Ministerio del Medio Ambiente	01-11-2020
4	08	Memo que solicita representante a comité operativo	Memo N° 605/2020	Ministerio del Medio Ambiente	02-11-2020
5	09	Memo que solicita representante a comité operativo	Memo N° 606/2020	Ministerio del Medio Ambiente	02-11-2020
6	10	Memo designa representante C.O.	Memo N° 175/2020	Ministerio del Medio Ambiente	13-11-2020
7	11	Memo designa representante C.O.	Memo N° 636/2020	Ministerio del Medio Ambiente	26-11-2020
8	12-14	Oficio que solicita representante a comité operativo	Oficio N° 205025	Ministerio del Medio Ambiente	09-12-2020
9	15	Oficio no designa representante C.O.	Oficio N° 1402	Ministerio de Energía	21-12-2020
10	16	Oficio designa representante C.O.	Oficio N° 3462	Superintendencia del Medio Ambiente	21-12-2020
11	17	Oficio designa representante C.O.	Oficio N° 709	Comisión Chilena del Cobre	23-12-2020
12	18	Oficio designa representante C.O.	Oficio N° 001	Ministerio de Obras Públicas	05-01-2021
13	19-33	Entrega Antecedentes técnicos	Carta Codelco	Codelco	02-02-2021
14	34-40	Carta División Chagres- S-AAS602-0221-0541	Carta Chagres	Anglo American, División Chagres	02-02-2021



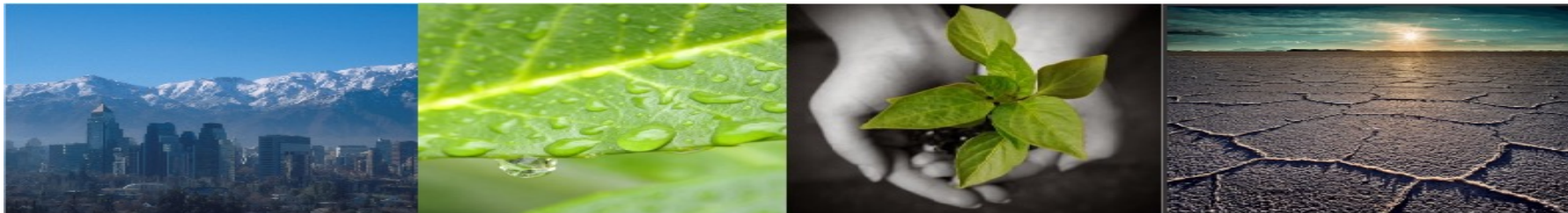
¿Preguntas?



Ministerio del
Medio
Ambiente

Gobierno de Chile





ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA ELABORACIÓN DE UNA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE PARA ARSÉNICO Y LA REVISIÓN DE LA NORMA DE EMISIÓN PARA FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE (NPCA) Y NORMA DE EMISIÓN DE AS

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente

**PRESENTACIÓN AL COMITÉ OPERATIVO DEL DS28/2013
6 Y 20 OCTUBRE 2022**

Objetivos del proyecto

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Objetivos

□ General:

Proporcionar **antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire de Arsénico** y también para la **revisión de la Norma de Emisión** para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico, considerando un **análisis técnico y económico**, así como **efectos en la salud** y beneficios económicos asociados a reducciones de arsénico y otros contaminantes.

□ Específicos:

- a) **Obtener antecedentes para la Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico.**
- b) **Revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.**

Relacion con el proceso de revisión de la norma emisión de MP y As (DS28/2013)

- Las dos normas están íntimamente ligadas, porque el As se emite a través del material particulado (es un componente del MP).
- Las medidas de reducción de emisiones de As son realmente medidas de reducción de As, ya que no se puede separar el As del MP.
- Por lo tanto, reducciones de As conllevan necesariamente reducciones de MP.
- Luego, la emisión límite de MP de una fundición específica será el menor valor de lo que requiera cada norma → una de las dos normas será redundante en cada fundición (no necesariamente la misma en todas).
- La concentración de As en el concentrado que procesa la fundición es clave en determinar cual es la norma “activa”

ANTECEDENTES: EFECTOS EN LA SALUD DEL ARSÉNICO

La investigación al servicio de una política pública sustentable



7

Efectos sobre la salud del As

El As tiene diferentes efectos dependiendo de la duración de la exposición: corto plazo (exposición aguda) o largo plazo (exposición crónica)

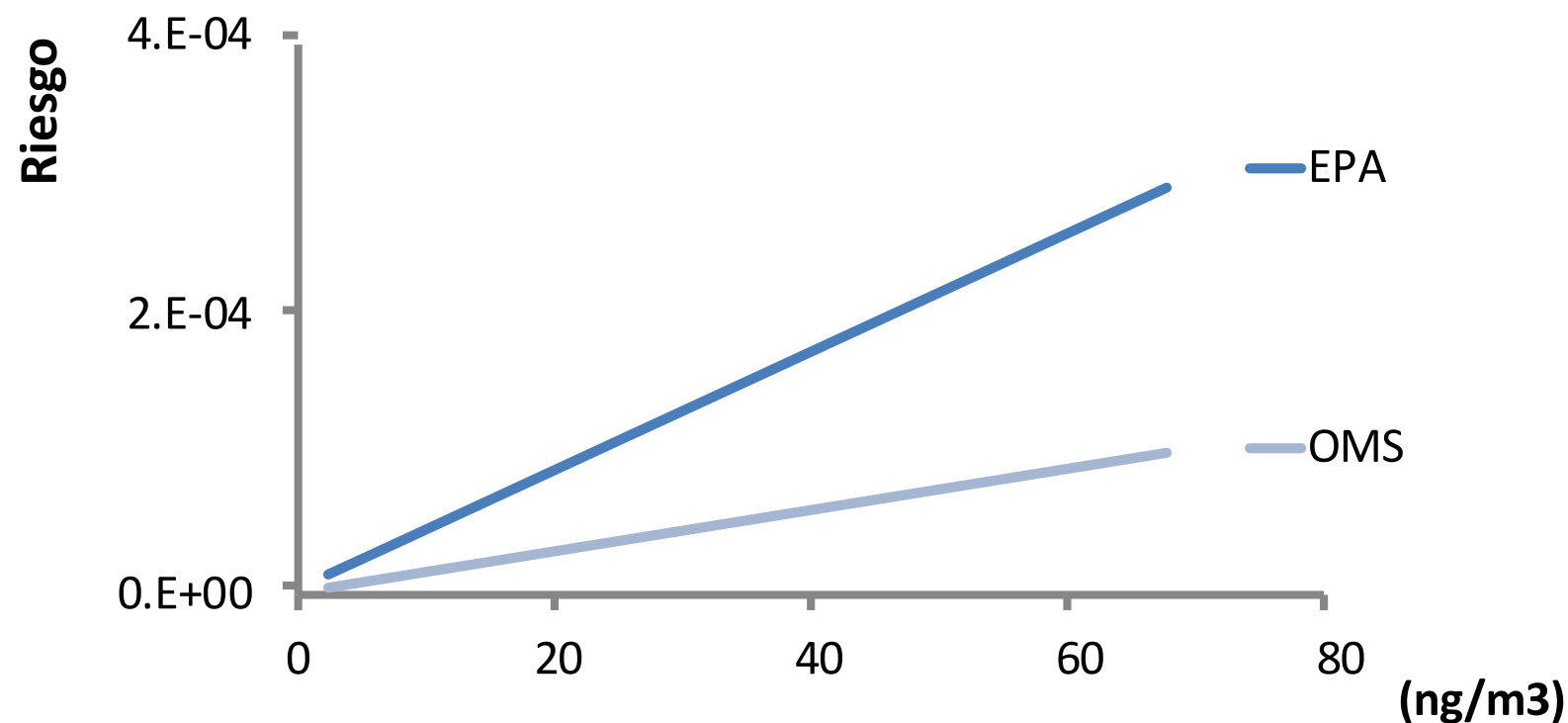
- **Corto plazo:** Debe existir exposición a dosis particularmente altas, tanto que éstas no se ven normalmente en ambientes comunitarios, sino solamente en exposiciones ocupacionales y que pueden producir daños en los órganos que pueden provocar la muerte.
- **Largo plazo:** Estudios clínicos e epidemiológicos de exposición ocupacional han mostrado una clara correlación entre la exposición al arsénico inorgánico y la incidencia de cáncer de pulmón (efecto crítico), motivo por el cual múltiples agencias los han clasificado como **carcinógeno en humanos (el nivel más alto de clasificación)**.
- El riesgo incremental de cáncer corresponde al incremento en la probabilidad de un individuo de desarrollar cáncer por la exposición a un compuesto cancerígeno.

Riesgo unitario para cáncer pulmonar por Inhalación de As

Según Agencia Reguladora

Agencia	Inhalation Unit Risk (IUR) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Concentración asociada a riesgo de 1/100.000 (1E-5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración asociada a riesgo de 1/10.000 (1E-4) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
USEPA	4,30E-03	0,0023	0,0233
California Air Resources Board (CARB)	3,30E-03	0,0030	0,0303
Texas Council on Environmental Quality (TCEQ)	0,15E-03	0,0667	0,6667
Netherlands Dutch Expert Committee on Occupational Safety (DECOS)	0,70E-03	0,0143	0,1429

Coeficientes de riesgo unitario por inhalación para arsénico en el aire



Relación dosis - respuesta riesgo incremental y concentraciones de arsénico para coeficientes de riesgo de US-EPA y de la OMS

- Para un mismo riesgo, la OMS permite una concentración 2,9 (4,3/1,5) veces mayor
- Alternativamente, el riesgo para una misma concentración es 2,9 veces mayor al considerar el IUR de la EPA por sobre la OMS
 - $R_{EPA}(\hat{c}) = 2,87 \times R_{OMS}(\hat{c})$

NIVELES BASALES DE CONCENTRACION DE ARSENICO EN EL AIRE

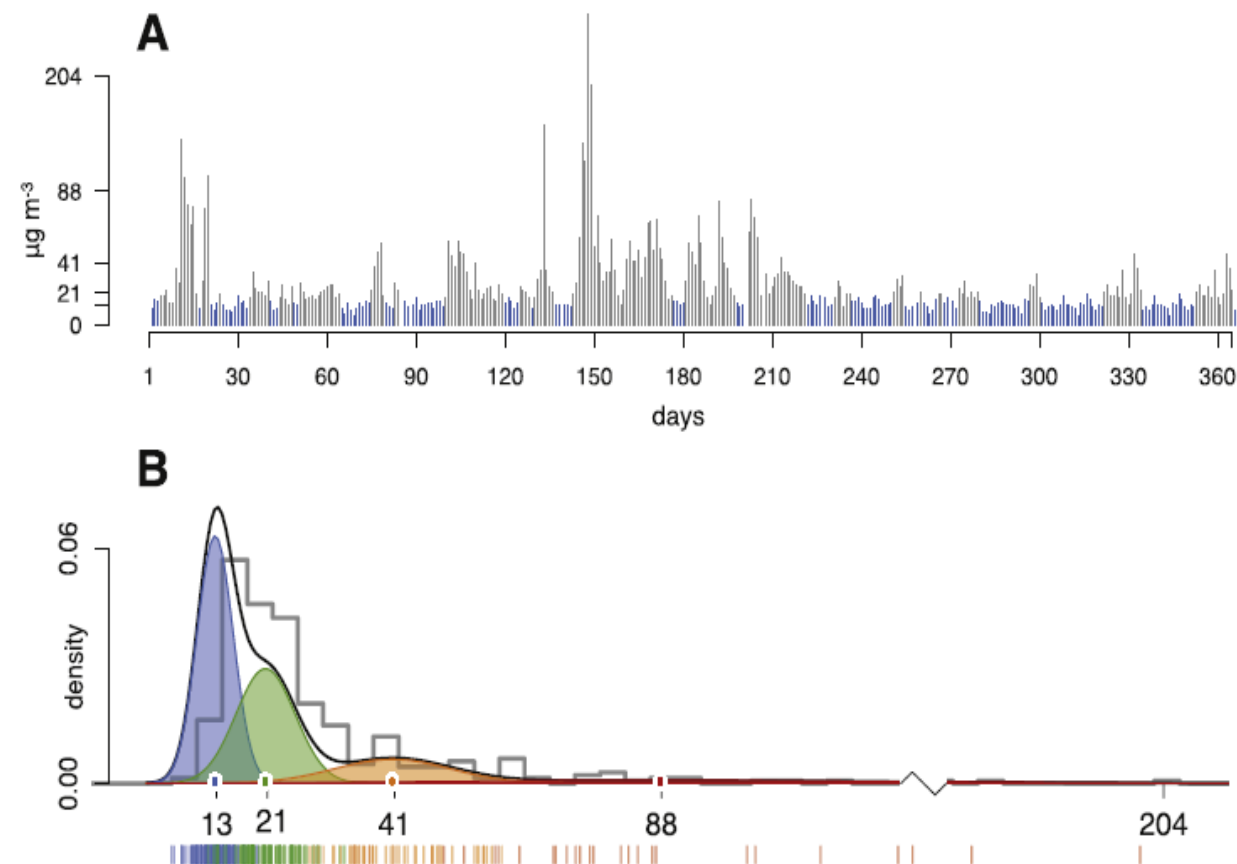
La investigación al servicio de una política pública sustentable



Estimación del aporte basal – Cadenas markovianas ocultas

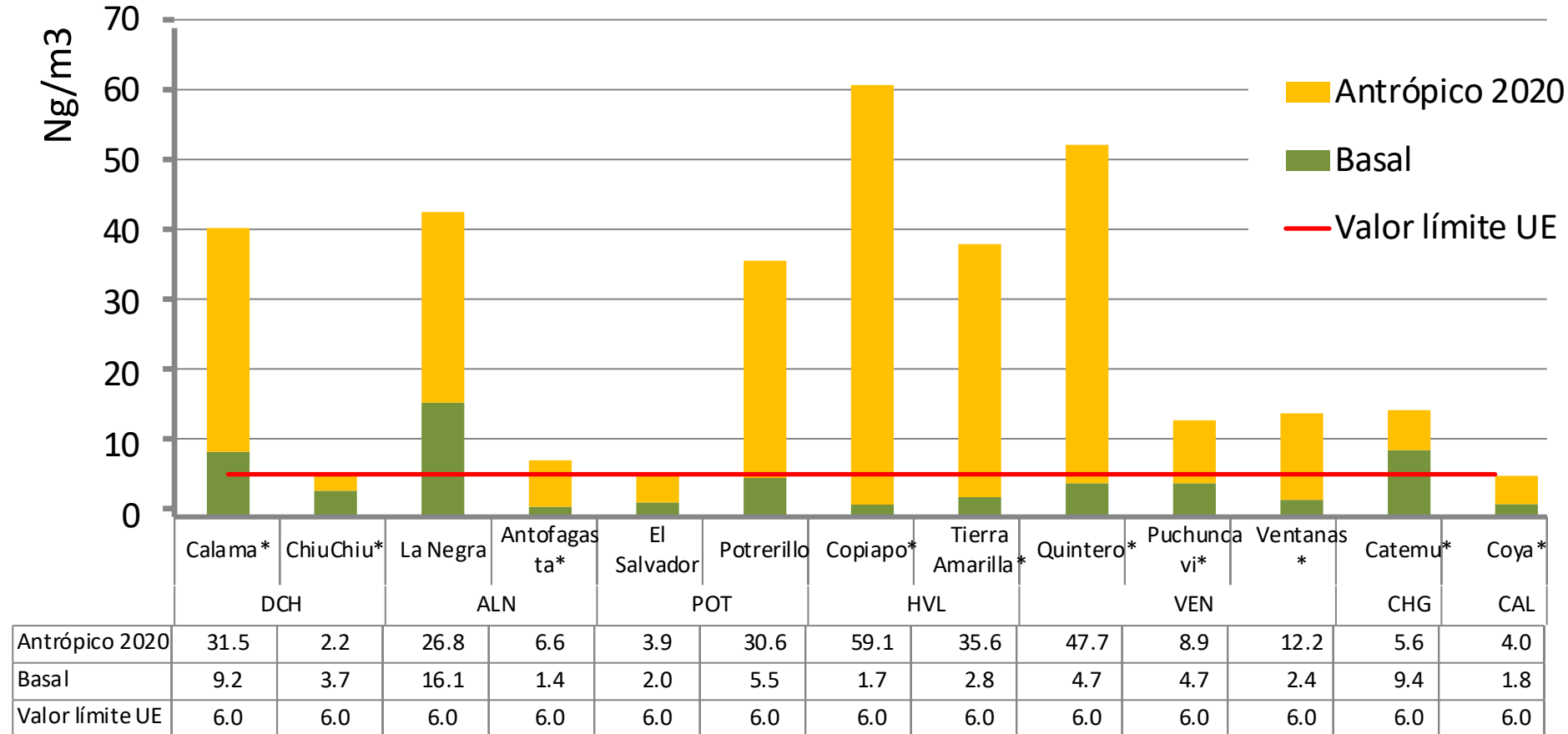
- Para la estimación se realiza un análisis estadístico, basado en cadenas markovianas ocultas (HMM)
- Las HMM realizan una agrupación de las observaciones a lo largo del tiempo en regímenes de distintas concentraciones (*clusters*)
- Los resultados se comparan con las mediciones observadas en periodos donde la fundición no estuvo funcionando

Ejemplo de cadena markoviana oculta para estimar concentración basal



Fuente: (Martín-Cruz et al., 2020)

Concentración As (medido en MP10) en 2020 [ng/m³N]

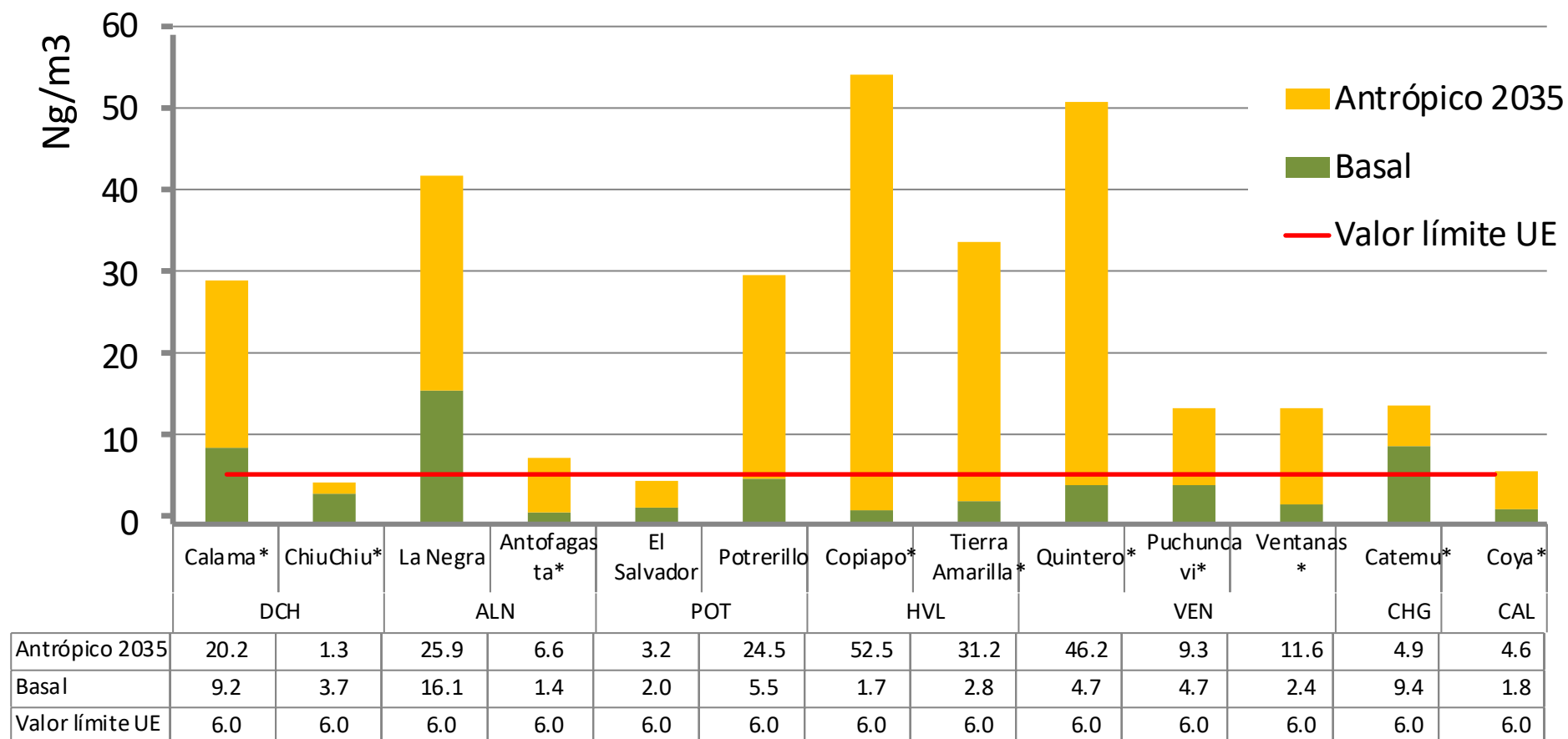


Background determinado a partir de mediciones de concentraciones ambientales usando Cadenas markovianas ocultas

*Promedio: Promedio ponderado por población de cada localidad.

- Diferencias importantes en los niveles observados de arsénico y en la estimación del background.
- En promedio el background es el 14% de la concentración observada, pero puede llegar a ser 74% (Chiuchiu) o 66% (Catemu)

Concentración As (medido en MP10) en 2035 [ng/m³N]



Background determinado a partir de mediciones de concentraciones ambientales usando Cadenas markovianas ocultas

*Promedio: Promedio ponderado por población de cada localidad.

- Diferencias importantes en los niveles observados de arsénico y en la estimación del background.
- En promedio el background es el 14% de la concentración observada, pero puede llegar a ser 74% (Chiuchiu) o 66% (Catemu)

RELACIÓN EMISIÓN-CONCENTRACIÓN EN EL AIRE

La investigación al servicio de una política pública sustentable



RELACIÓN EMISIÓN - CONCENTRACIÓN

$$\sum_{j=1}^N C_{Oij} = \sum_{j=i}^N \frac{E_j}{FEC_{ij}} \cdot \frac{1}{FC'_i} + \beta_i$$

1. CHUQUICAMATA

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación CD 23 de marzo	Calama	$C_{Calama} = \frac{E_{PA3}}{9.588,79} + \frac{E_{PA4}}{9.336,84} + \frac{E_{PAS}}{7.9900,71} + \frac{E_{FUGITIVA}}{8.947,71} + 0,009$
Estación Nueva ChiuChiu	ChiuChiu	$C_{Chiu-Chiu} = \frac{E_{PA3}}{9.4474,99} + \frac{E_{PA4}}{9.1181,98} + \frac{E_{PAS}}{7.417,65} + \frac{E_{Fugitiva}}{128.603,91} + 0,0037$

2. ALTONORTE

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Coviefi	Antofagasta	$C_{Antofagasta} = \frac{E_{PAS1}}{32.380,51} + \frac{E_{PAS3}}{31.473,01} + \frac{E_{FUGITIVA}}{18.383,28} + 0,0014$
Estación Inacal	ChiuChiu	$C_{La Negra} = \frac{E_{PAS1}}{113.859,95} + \frac{E_{PAS3}}{117.110,46} + \frac{E_{FUGITIVA}}{4.576,01} + 0,0161$

3. POTRERILLOS

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Cine Inca	Salvador	$C_{Salvador} = \frac{E_{PAS}}{20.810,15} + \frac{E_{FUGITIVA}}{15.911,68} + 0,002$
Estación CAP	Potreriillos	$C_{Potrerillos} = \frac{E_{PAS}}{5.578,22} + \frac{E_{Fugitiva}}{2.038,1} + 0,0055$

RELACIÓN EMISIÓN - CONCENTRACIÓN

4. HERNÁN VIDELA LIRA

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Paipote	Copiapó	$C_{\text{Copiapó}} = \frac{E_{HLE}}{2.968,47} + \frac{E_{PTGC}}{2.683,08} + \frac{E_{FUGITIVA}}{348,85} + 0,0017$
Estación Tierra Amarilla	Tierra Amarilla	$C_{\text{Tierra Amarilla}} = \frac{E_{HLE}}{694,44} + \frac{E_{PTGC}}{775,84} + \frac{E_{FUGITIVA}}{588,16} + 0,0028$

5. VENTANAS

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Puchuncaví	Puchuncaví	$C_{\text{Puchuncaví}} = \frac{E_{HTE}}{5.597} + \frac{E_{PAS}}{4.481,52} + \frac{E_{FUGITIVA}}{5.660,4} + 0,0047$
Estación Quintero	Quintero	$C_{\text{Quintero}} = \frac{E_{HTE}}{2.506,6} + \frac{E_{PAS}}{2.158,91} + \frac{E_{FUGITIVA}}{1.096,52} + 0,0047$
Estación Ventanas	Ventanas	$C_{\text{Ventanas}} = \frac{E_{HTE}}{2.678,19} + \frac{E_{PAS}}{2.022,16} + \frac{E_{FUGITIVA}}{4.290,27} + 0,0024$

6. CHAGRES

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Lo Campo	Lo Campo	$C_{\text{Lo Campo}} = \frac{E_{PAS}}{1.258,51} + \frac{E_{HORNO}}{723,59} + \frac{E_{FUGITIVA}}{1.405,3} + 0,0094$
Punto de interés Llayllay	Llayllay	$C_{\text{Llayllay}} = \frac{E_{PAS}}{2.698,86} + \frac{E_{HORNO}}{1.824,25} + \frac{E_{FUGITIVA}}{3.146,41} + 0,0094$
Punto de interés Panquehue	Panquehue	$C_{\text{Panquehue}} = \frac{E_{PAS}}{597,94} + \frac{E_{HORNO}}{525,66} + \frac{E_{FUGITIVA}}{1.920,92} + 0,0094$

7. CALETONES

Receptor	Localidad	Relación FEC
Estación Coya Población	Coya	$C_{\text{Coya}} = \frac{E_{PLG1}}{41337,77} + \frac{E_{PLG2}}{58073,75} + \frac{E_{FUGITIVA}}{14584} + 0,0018$

ESCENARIOS REGULATORIOS ANALIZADOS

La investigación al servicio de una política pública sustentable

27



Definición de escenarios de NPCA

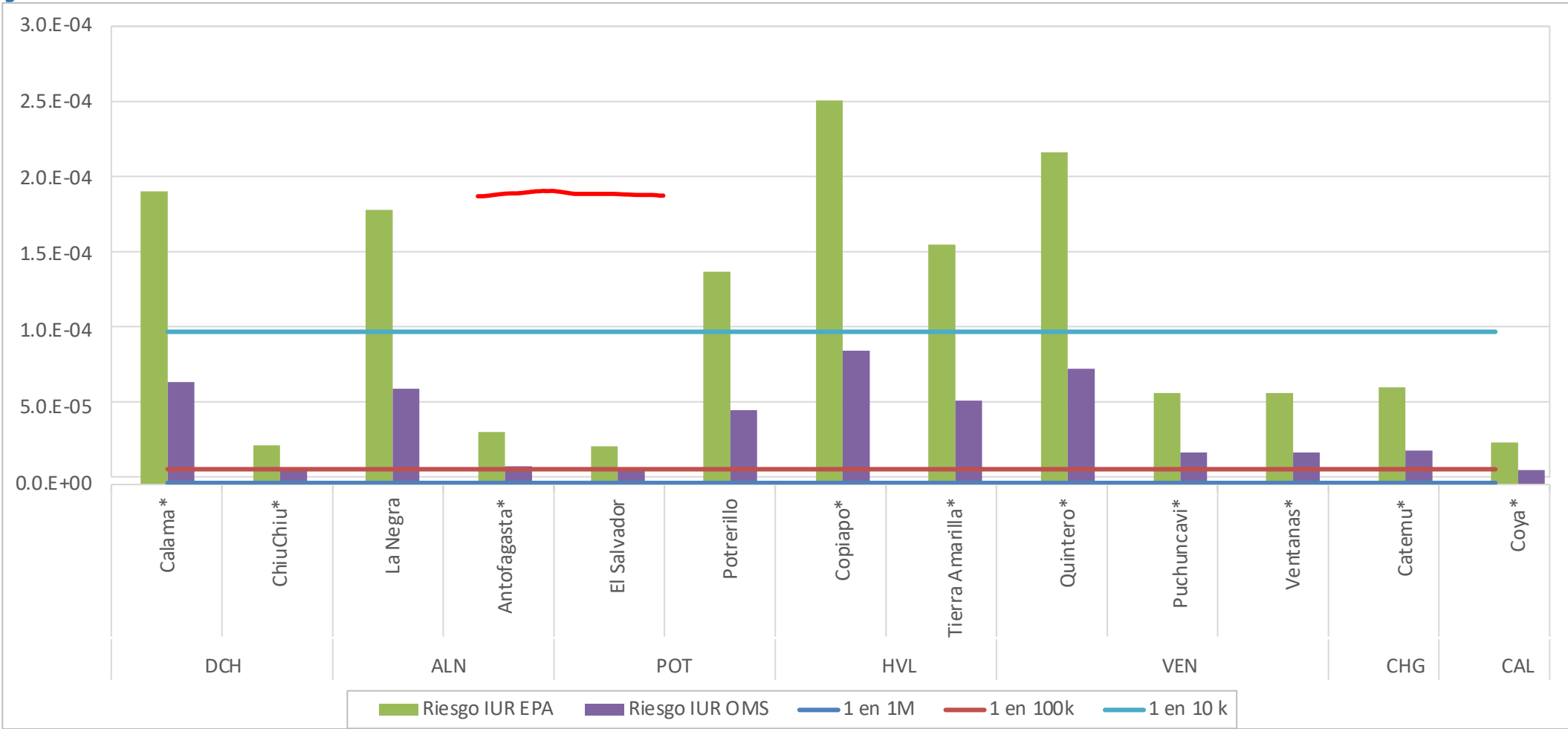
Antecedentes respecto a riesgo de cáncer aceptado en Chile

- **Arsénico en agua potable:**
 - Drinking Water Unit Risk ($5e-5$ per $\mu\text{g}/\text{L}$).
 - Norma en 0,01 mg/L \rightarrow Riesgo de $2e-4 =$ 2 en 10k.
 - Exposición calculada con supuestos normales (~ 2 l/día consumo agua potable).

- US-EPA típicamente considera riesgos entre 1 en 10k y 1 en 1M.

- OMS considera un riesgo aceptable de 1 en 100k ($1e-5$) (OMS, 2001).

Riesgo incremental de cáncer Proyección base 2035



*Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

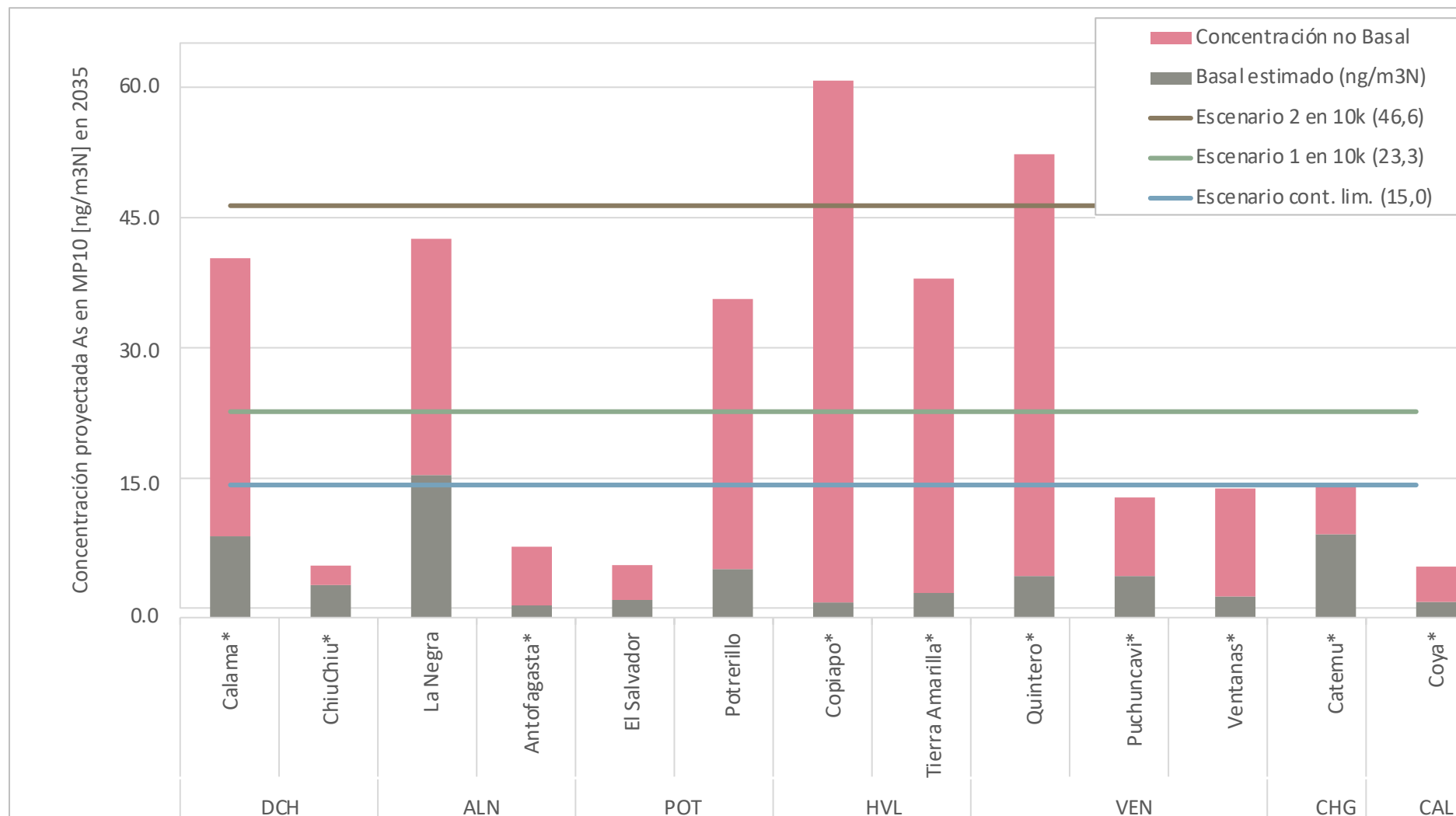
- Promedio considerando la concentración media proyectada ponderada por población.
- En el escenario base los riesgos se encuentran entre:
 - IUR EPA: 2,5 en 100k hasta 2,5 en 10k
 - IUR OMS: 1 en 100k hasta 1 en 10k

Escenarios normativos propuestos

Se proponen 3 escenarios normativos:

- **Escenario 2 en 10k:** Escenario con un riesgo equivalente al riesgo aceptado en la norma de arsénico en el agua potable (2 en 10.000). Equivale a concentración media anual de 46,6 ng/m³ considerando IUR más conservador (US-EPA).
- **Escenario 1 en 10k:** Escenario que considera como riesgo aceptable 1 en 10.000 (1e-4). Equivale a 23,3 ng/m³N, considerando IUR más conservador (US-EPA).
- **Escenario contribución limitada:** Escenario de mayor ambición donde la contribución de las fundiciones a la concentración ambiental es limitada.
Equivale a 15 ng/m³N → Riesgo incremental aceptable equivalente a 6,7 en 100.000, es decir, 0,67 casos en 10k durante toda la vida.

Escenarios normativos propuestos



* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

- Escenario 2 en 10k: Incumple HVL y Ventanas.
- Escenario 1 en 10k: Incumple Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.
- Escenario contribución limitada: Incumple Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.

Nota: No se considera Potrerillo por no tener representatividad poblacional para MP10, y por no contar con una población censada.

NORMA DE EMISION

La investigación al servicio de una política pública sustentable



REGULACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL PARA FUNDICIONES DE COBRE Y OTRAS FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Normas de As para Fundiciones de Cobre Analizadas

País	Nombre oficial de la regulación	Referencia (Autor y Año de promulgación)	As
Chile	D.S. N°28 de 2013 Norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico establecida	(MMA, 2013)	✓
Alemania	Technical Instructions on Air Quality Control (TA Luft)	(Bundesrat, 2002), (Bundesrat, 2020) (*)	✓
China	Norma de emisión de contaminantes para la industria del cobre, níquel y cobalto	(MEP, 2010)	✓
Estados Unidos	1. National Emission Standard for Inorganic Arsenic Emissions from Primary Copper Smelters 2. Standards of Performance for Primary Copper Smelters 3. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting 4. Revisión y propuesta de enmienda de los NESHAP (40 CFR Part 63)	1. (US-EPA, 1986) 2. (US-EPA, 1976) 3. (US-EPA, 2002) 4. (US-EPA, 2022)	✓ En emisiones de MP

Normativas nacionales e internacionales recopiladas en materia de emisiones de arsénico y/o de otros contaminantes de fundiciones de cobre

Fuente: Elaboración propia

País	Nombre oficial de la regulación	Referencia (Autor y Año de promulgación)	As
Japón	1. Ley de Control de la Contaminación del Aire 2. Reglamento para la aplicación de la Ley de control de la contaminación atmosférica 3. "Regulatory Measures against Air Pollutants Emitted from Factories and Business Sites and the Outline of Regulation" y "Regulatory Measures against Air Pollutants Emitted from Factories and Business Sites and the Outline of Regulation - Emission Standards for Toxic Substances"	1. (Ministry of the Environment, 1968) 2. (MHLW & MLIT, 2017) 3. (MoE, 1998a) y (MoE, 1998b)	✓ En emisiones de MP
Canadá	1. Clean Air Regulation (RAA por sus siglas en francés) 2a. Ley Canadiense de Protección Ambiental (comúnmente denominada LCPE, por sus siglas en francés) 2b. Lista de Sustancias Tóxicas de la LCPE (Anexo 1) Guías: 3. Código de prácticas medioambientales para fundiciones y refinerías de metales básicos ("Code de pratiques écologiques pour les fonderies et affineries de métaux communs") 4. Orientación y referencias técnicas para el segundo certificado de saneamiento ("Orientations et références techniques pour la deuxième attestation d'assainissement")	1. (Government of Quebec, 1979b) 2a. (Government of Canada, 1999) 2b. (Government of Canada, 2021) 3. (Environment Canada, 2006) 4. (MDDELCC, 2018b)	×
Zambia	Air Pollution Control (Licensing and Emission Standards) Regulations. Third Schedule (Regulation 4) Cap. 204, Sections 37, 46 and 96)	(Environmental Council of Zambia, 1997)	× Excepto en Rouyn-Noranda, Quebec

Contaminantes regulados en las normativas de países fundidores de cobre

País	As y comp.	Otros contaminantes y parámetros regulados
Chile	As solamente	SO ₂ MP Hg (solo nuevas fuentes) Opacidad
Alemania	As, además de arsina e hidrógeno arsénico	En fundiciones de metales no ferrosos: SO _x polvo total sustancias inorgánicas sustancias orgánicas (compuestos de cloro inorgánico gaseoso) NO _x NH ₃ dioxinas, furanos y bifenilos policlorados, y otras sustancias carcinogénicas.
China	As y sus compuestos	SO ₂ MP Niebla de ácido sulfúrico Cl HCl As y sus compuestos Pb y sus compuestos Fluoruro Hg y sus componentes Ni y sus compuestos Pb

País	As y comp.	Otros contaminantes y parámetros regulados
Estados Unidos	As inorgánico (solo en la alimentación de convertidores)	SO ₂ MP, MP10 Opacidad Antimonio Berilio Cadmio Cobalto Plomo Manganeso Mercurio Níquel Selenio
Japón	No se regula As pero sí As está clasificado como contaminante peligroso del aire.	SO _x Hollín y polvo NO _x Cd y compuestos de Cd Pb y compuestos de Pb Hg
Canadá	No se regula As en la RAA. Sí se regula en el Segundo certificado de saneamiento para una sola fundición (Rouyn-Noranda, Quebec).	RAA: SO ₂ MP NO _x S Hg Opacidad
Zambia	As solamente (regulado de manera indirecta en fundiciones de cobre para las cuales se regulan las emisiones de polvo en esta misma norma)	Específicamente para fundiciones y convertidores de cobre: SO ₂ (*) Polvo Metales pesados en las emisiones de polvo de todas las instalaciones de producción de cobre (fundiciones incluidas): Cd Cu Pb Hg (*) También regulado en otras instalaciones utilizadas para la producción de cobre.

Contaminantes y parámetros regulados en las normas de emisión recopiladas en Chile y a nivel internacional

Fuente: Elaboración propia

Norma Chilena de emisión para fundiciones

Decreto 28 ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO (MMA, 2013)

- Fija **límites máximos de emisión anuales de dióxido de azufre (SO₂) y arsénico (As)** para fuentes existentes, en toneladas por año, de manera específica a cada fundición existente (Artículo 3).
- **Simultáneamente, las fundiciones deben cumplir con un nivel de captura y fijación de ambos contaminantes de al menos 95%** (Artículo 3).
- **Límites de emisión por chimenea** asociada a los procesos unitarios en fundiciones existentes (Artículo 4):
 - Planta de ácido: **As ≤ 1 mg/m³N** (mensual) ; SO₂ ≤ 600ppm (horario)
 - Secadores: MP ≤ 50 mg/m³N (mensual)
 - Hornos de limpieza de escoria: **As ≤ 1 mg/m³N** (mensual) ; MP ≤ 50 mg/m³N (mensual)
 - Chimeneas de hornos de refinación: Opacidad de humos ≤ 20%
- **Límites de emisión por chimenea** asociada a los procesos unitarios en **otras fuentes emisoras de As** (Artículo 5):
 - Planta de ácido: **As ≤ 1 mg/m³N** (mensual) ; **SO₂ ≤ 400ppm (horario)**
- **Nuevas fuentes** deben cumplir con **límites de captura y fijación de 98% para SO₂ y As. Concentraciones máximas de emisión más exigentes para SO₂ e iguales para As** que en fundiciones existentes; nuevo límite para el Hg (Artículo 8).
- Procedimientos de **reporte, fiscalización y metodología para verificación del cumplimiento de los límites** establecidos:
 - Metodología del balance de masa para emisiones anuales.
 - Procedimientos de medición continua o discreta para las demás emisiones.

Límites máximos de emisión anual [ton/año]

Fuente: (Tabla 1 D.S. 28/2013, MMA)

Fuente emisora	SO ₂	As
Altonorte	24,400	126
Caletones	47,680	130
Chagres	14,400	35
Chuquicamata	49,700	476
Hernán Videla Lira	12,880	17
Potreros	24,400	157
Ventanas	14,650	48

Normas de emisión para fundiciones: EEUU

National Emission Standard for Inorganic Arsenic Emissions From Primary Copper Smelters (US-EPA, 1986)

- El *Clean Air Act* (CAA, por sus siglas en inglés) (42 U.S.C. 7401 et seq.) es un conjunto de normas sobre calidad del aire, que entre otras cosas **regula las emisiones de fuentes estacionarias de contaminantes atmosféricos peligrosos** (*Hazardous Air Pollutants*, HAP). Los HAP son aquellos contaminantes presentes en el aire para los cuales se sabe o se sospecha que causan cáncer u otros efectos graves para la salud, como efectos reproductivos o defectos de nacimiento, o efectos ambientales adversos. Desde el año 1980, el arsénico inorgánico fue clasificado en esta categoría por la EPA, en el artículo 112 del CAA (45 FR 37885) (US-EPA, 2013).
- La norma estadounidense de 1986 comprende los siguientes elementos:
 - **Enfoque de Mejores Tecnologías Disponibles (BAT)**: Considera la **instalación de un equipo de captura y control de las emisiones de MP** donde se encuentra el arsénico, *Secondary hood system*.
 - **Criterio de entrada** de acuerdo al promedio anual de la **tasa de carga de As, equivalente a 75 kg/hr en el cobre mate** que alimenta los convertidores.
 - Límite de emisiones del dispositivo de control a **11,6 mg/Nm³ de partículas en el gas de escape**.
 - Se requiere presentar **informes anuales de la tasa promedio de carga de arsénico inorgánico a los convertidores**, y informes trimestrales sobre flujos de aire y niveles de opacidad excesivos.
- **Adicionalmente a la norma de control de Arsénico de 1986 existen tres estándares adicionales**:
 - **Standards of Performance for Primary Copper Smelters** (US-EPA, 1976): establece límites para emisiones de MP y SO₂
 - *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting* (US-EPA, 2002), **NESHAP de fundiciones primarias de cobre**
 - *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting Area Sources - Subpart EEEEE* (US-EPA, 2007), **NESHAP para áreas donde se emplazan fundiciones primarias de cobre**.
 - Estos estándares comprenden:
 - **Nuevos límites para emisiones de MP y nivel de opacidad** de varias instalaciones y gases de escape de instalaciones (ej. límite de MP por tonelada de concentrado de cobre que ingresa al equipo, Monitoreo continuo con registro diario).
 - **Buenas prácticas** aplicables a fundiciones de cobre primarias que usen convertidores de cobre por lotes (*batch*) (2002).
- **La propuesta de modificación de la norma (en curso)** incluye **límites de MP para emisiones fugitivas de techos de hornos de fusión, convertidores, hornos de refinación de ánodos**, y un **límite de MP10 para reactores de fusión** (en estudio actualmente - 2021).

Normas de emisión para fundiciones: UE

Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales que abarca la producción y transformación de metales y las industrias minerales (UE, 2010)

- Fundiciones de cobre reguladas en las categorías “**2.5. Transformación de metales no ferrosos**”, y “**3.4. Fundición de materiales minerales, incluida la fabricación de fibras minerales con una capacidad de fundición superior a 20 toneladas por día**”.
 - UE tiene actividades limitadas en este rubro: 2,2 millones de toneladas de cobre refinado al año, o 9,4% de la producción mundial (fuente ICSG, 2016). Producto principal es cátodo obtenido electrolíticamente, por lo que la fundición se realiza frecuentemente en un segundo tiempo con el fin de producir palanquillas o lingotes.

- Para obtener el permiso de una instalación, los operadores de los Estados miembros de la UE deben respetar **los valores límites de emisión** fijados por esta regulación para todas las doce sustancias y/o grupos de sustancias contaminantes enumeradas en el Anexo II para la atmósfera.

- El arsénico está en la Lista de sustancias contaminantes reguladas en el Anexo II, pero **el valor límite de emisión indicado no aplica para fundiciones**, sino solo para instalaciones de incineración y co-incineración de residuos.
 - Valores límites de emisión son para un **conjunto de metales pesados del cual es parte el arsénico**: 0,5 mg/Nm³ para As además de plomo, cromo, cobalto, cobre, manganeso, níquel, vanadio y sus compuestos respectivos (instalaciones de incineración).
 - **Cada sustancia se mide por separado** a lo largo de un período de muestreo de un mínimo de 30 minutos y un máximo de 8 horas.

Normas de emisión para fundiciones: Alemania

Instrucciones Técnicas para Mantener el Aire Limpio “TA Luft” (Bundesrat, 2002, versión actualizada de 2020)

- **Conjunto de disposiciones orientadas a reducir las emisiones e inmisiones de contaminantes del aire de instalaciones industriales** que deben ser aprobadas bajo la ley alemana de control de inmisiones para poder operar.
 - **Valores límites de emisión** en fundiciones de cobre:
 - **As: 0,05 mg/m³** (excluyendo la arsina)
 - Arsina (sustancias inorgánicas gaseosas de Clase I): 0,5 mg/m³
 - **As de Chimeneas de fundiciones: 0,00016 mg/m³**, se especifica cómo calcular altura para respetar los límites.
 - Otros componentes: Polvo total ≤ 5 mg/m³
 - **Métodos de medición y cálculo de dispersión** a utilizar para la estimación de las emisiones de los contaminantes, con frecuencia ideal diaria o mensual, sino anual.
 - Valores aplican también plantas de producción de cobre secundarias.
 - **Principio de minimización de emisiones, mediante el uso de las Mejores Tecnologías Disponibles (BAT)** para la prevención y el control integrados de la contaminación.
- ➔ **Regulación más exigente y específica que lo existente a nivel de la UE** en materia de emisiones de arsénico desde fundiciones.

Normas de emisión para fundiciones: China

Norma de emisión de contaminantes para la industria del cobre, níquel y cobalto (MEP, 2010)

- **Empresas** de fundiciones de cobre operando en China (y de níquel y cobalto)
- **Fija límites de emisión progresivos** de una serie de contaminantes del aire, entre los cuales está el **arsénico**:
 - **Empresas existentes: 0,4 mg/m³** (0,5 mg/m³ para el año 1 de implementación)
 - **Empresas nuevas del rubro: 0,4 mg/m³ desde 2011**
- **Y otros contaminantes:**
 - **SO₂**: 800-960 mg/m³ (Empresas existentes según instalación), 400 mg/m³ (Empresas nuevas);
 - **MP**: 800-960 mg/m³ (Empresas existentes), 400 mg/m³ (Empresas nuevas);
 - **Niebla de ácido sulfúrico**: 45 mg/m³ (Empresas existentes), 40 mg/m³ (Empresas nuevas);
 - **Pb**: 0,7 mg/m³ (Empresas existentes y nuevas);
 - **Hg**: 0,012 mg/m³ (Empresas existentes y nuevas);
- **Requisitos de monitoreo de contaminantes** del aire con estándares de métodos específicos oficiales
 - ej. para la determinación de la concentración de másica de arsénico, espectrofotométrico de dietilditiocarbamato de plata (referenciado “HJ 540-2009”), de manera provisional de acuerdo con lo indicado.

Normas de emisión para fundiciones: Zambia

Air Pollution Control (Licensing and Emission Standards) Regulations (Environmental Council of Zambia, 1997)

- **As se regula de manera indirecta** en las emisiones de polvo de la producción del cobre, fundiciones incluidas.
- En fundiciones de cobre, solo se regula de manera directa el SO₂ y el polvo.
- Valores límites establecidos para:
 - **Arsénico contenido en emisiones de polvo** proveniente de la producción del cobre es igual a 0,5 mg/Nm³, y de otros metales pesados en polvo: Cd y Hg (0,05 mg/Nm³) y Pb (0,2 mg/Nm³).
 - **Emisiones de SO₂ y polvo** provenientes de fundiciones y convertidores de cobre, iguales a 1.000 y 50 mg/Nm³, respectivamente.
- **Son límites “de largo plazo”**, no se especifica ningún plazo en particular ni duración o frecuencia de realización de mediciones.
- Los **parámetros de la medición** de los contaminantes del aire como el arsénico **pueden ser definidos por la Inspección** a cargo de otorgar y renovar las **licencias y permisos de operar y/o de emitir contaminantes al aire**.

Resumen de regulaciones para fundiciones de cobre y fuentes similares

Legislatura	Normas	Contaminantes	Tipo normativa	Otras fuentes incluidas
Chile	NE (2013)	SO ₂ ; As; MP; Hg	Límites anuales Límites emisiones puntuales	Secadores Fuente con tratamiento térmico de cobre y oro, con contenido de As > 0,005% en su alimentación.
EEUU	Perfomance (1976) Arsenico (1986) NESHAP (2002,2007) Propuesta NESHAP (2022)	SO ₂ ; MP	BAT Límites emisiones puntuales Límites emisiones fugitivas	Tostadores (1976) Secadores (2002, 2007)
Alemania	TA LUFT (2002, 2020)	SO _x ; MP; As (y derivados); sust. inorgánicas	BAT Límites emisiones puntuales	Tostadores y secadores
China	NE industria Cu, Ni y Co (2010)	SO ₂ ; MP; As; Pb; Hg; Cl	Límites emisiones puntuales	Secadores
Japón	Acciones regulatorias para sitios industriales (1998) Reglamento Ley de Control de CA (2017)	SO _x ; MP; Cd; Pb; Hg	BAT Límites emisiones puntuales (consideran la zona y antigüedad)	Tostadores y secadores
Zambia	NE (1997)	SO ₂ ; MP	Valores objetivos límites emisiones puntuales	-

Definiciones relativas a fuentes emisoras y/o de interés en la materia

País	Enfoque de la norma	Definiciones relativas a fuentes emisoras y/o de interés
Chile	Enfoque hacia la fuente emisora. Noción de fuente existente y nueva.	<ul style="list-style-type: none"> Fuente emisora: Toda fundición de cobre o cualquier otra fuente industrial emisora de As donde se realiza un tratamiento térmico de compuestos minerales o metalúrgicos de cobre y oro, cuyo contenido de As en la alimentación sea superior a 0,005% en peso en base mensual. Fuente emisora existente: Corresponde a las fundiciones Altonorte, Caletones, Chagres, Chuquicamata, Hernán Videla Lira, Potrerillos y Ventanas, y a toda otra fuente industrial emisora de arsénico que hubiere obtenido una resolución de calificación ambiental favorable con anterioridad a la publicación de esta norma en el Diario Oficial. Fuente emisora nueva: Fuente emisora que ha obtenido su resolución de calificación ambiental con posterioridad a la publicación de esta norma en el Diario Oficial.
Alemania	Enfoque hacia la fuente de emisión y punto de origen de las emisiones en las plantas.	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones: En el sentido de este reglamento administrativo, son los contaminantes atmosféricos que emanan de una instalación. Fuentes de emisión: Son los lugares donde los contaminantes del aire ingresan a la atmósfera.
China	No se habla de fuentes emisoras, pero se entregan definiciones en línea con su enfoque, es decir, la industria y la empresa. Noción de instalación existente y nueva.	<ul style="list-style-type: none"> Industria del cobre, níquel y cobalto: Se refiere a las industrias de minería, aprovechamiento y fundición que producen metales de cobre, níquel y cobalto. No incluye las industrias de reciclaje y fundición que utilizan materiales de desecho de cobre, níquel y cobalto como materias primas. Procesamiento e instalaciones típicos: Se refiere a los procesos de producción de minería, beneficio y fundición de metales de cobre, níquel y cobalto y los dispositivos relacionados con estos procesos. Instalaciones existentes de la empresa existente: Se refiere a empresas industriales o instalaciones de producción de cobre, níquel y cobalto que se han completado y puesto en producción o han pasado la aprobación de documentos de evaluación de impacto ambiental antes de la implementación de esta norma. Nueva instalación: Se refiere a los proyectos de construcción de instalaciones de producción de cobre, níquel y cobalto nuevas, reconstruidas y ampliadas que hayan pasado la aprobación del documento de evaluación de impacto ambiental a partir de la fecha de implementación de esta norma.
Estados Unidos	Fundiciones primarias de cobre según la definición actualizada en 2002 y procesos, y emisiones secundarias (definiciones específicas).	<ul style="list-style-type: none"> Una fundición primaria de cobre se define como cualquier instalación o proceso intermedio dedicado a la producción de cobre a partir de concentrados de mineral de sulfuro de cobre mediante el uso de técnicas pirometalúrgicas (definición actualizada en 2002). Convertidor de cobre: significa cualquier recipiente en el que se carga mate de cobre y se oxida a cobre. Emisiones de proceso: significa las emisiones de arsénico inorgánico de los convertidores de cobre que se capturan directamente en la fuente de generación. Emisiones secundarias: significa las emisiones de arsénico inorgánico que escapan a la captura por un sistema primario de control de emisiones. Fuentes nuevas: Fuentes emisoras que fueron construidas o reconstruidas posteriormente al 6 de octubre 2006 (definición de la norma de 2007).

Definiciones relativas a fuentes emisoras y/o de interés en la materia encontradas en las normas de emisión recopiladas de Chile, China y EEUU

Fuente: Elaboración propia

País	Enfoque de la norma	Definiciones relativas a fuentes emisoras v/o de interés
Japón	Unidades emisoras de contaminantes (Ministry of the Environment, 1968)	<ul style="list-style-type: none"> No se utiliza el término "fuente emisora" pero se refiere a ella como "unidad que emite un(varios) contaminante(s)": significa una unidad que está instalada en una fábrica o lugar de negocios, que emite componente(s) que causa(n) contaminación del aire, y que está especificado por Orden de Gabinete como unidad cuya(s) emisión(es) es(son) particularmente necesaria(s) de ser regulada(s) debido a su gran volumen. Partículas: sustancias que se generan o dispersan como resultado de cualquier proceso mecánico, como triturar o clasificar materiales, o como resultado de la acumulación de dichos materiales. Unidad generadora de partículas ordinarias: unidad que se instala en una fábrica o lugar de negocios, que genera y emite o dispersa partículas ordinarias que causan contaminación del aire, y que se especifica por Orden de Gabinete. Salida (<i>outlet</i>): una apertura en una chimenea o cualquier otra unidad similar que haya sido instalada para emitir a la atmósfera el hollín o el humo que se genera en una unidad que genera hollín o humo, los compuestos orgánicos volátiles. asociado con una unidad que emite un compuesto orgánico volátil, o el mercurio o compuesto de mercurio asociado con una unidad que emite mercurio.
Canadá	Enfoque hacia establecimientos que son fuentes de emisión fijas y puntos de emisión. Incluye también fuentes de emisión fugitivas (RAA) (Government of Quebec, 1979a).	<ul style="list-style-type: none"> No se define el término "fuente emisora" o "establecimiento" pero sí se definen los establecimientos existentes y nuevos. Existente: significa establecido o puesto en funcionamiento o cuya construcción se inició antes del 30 de junio de 2011, excepto cualquier parte de la fuente de contaminación modificada o ampliada a esa fecha; (existente). Nuevo: significa establecido o puesto en funcionamiento o cuya construcción comenzó a partir del 30 de junio de 2011, incluida cualquier parte de una fuente de contaminación existente que se modifique o amplíe a partir de esa fecha; (nuevo). Proceso: cualquier método, reacción u operación por la cual los materiales tratados sufren un cambio químico o físico, en este último caso el proceso comprende todas las operaciones sucesivas sobre el mismo material que provocan el mismo tipo de cambio físico. Velocidad de alimentación: el peso total de los materiales introducidos en un proceso industrial durante un ciclo completo de funcionamiento, excluidos los combustibles líquidos y gaseosos y el aire.
Zambia	Enfoque hacia nuevas y existentes plantas industriales, empresa o proceso. Los operadores de dichas instalaciones deben cumplir con los límites de emisión a largo plazo.	<ul style="list-style-type: none"> No se define el término fuente emisora, y tampoco las plantas industriales, empresa o proceso. Emisión: La descarga a la atmósfera de un contaminante procedente de una fuente determinada en estado sólido, líquido o gaseoso. Operador: En relación con obras, industria, empresa o negocio significa la persona que tiene el control de las obras, empresa o negocio. Licencia: Significa una licencia para emitir contaminantes atmosféricos al aire ambiente emitida en virtud de este Reglamento.

Detalles relativos a fundiciones y otras fuentes reguladas en las normas

País	Detalles relativos a fundiciones	Otras fuentes reguladas
Chile	<p>Fundiciones de cobre en su conjunto, donde se realiza un tratamiento térmico de compuestos minerales o metalúrgicos de cobre y oro, cuyo contenido de As en la alimentación sea superior a 0,005% en peso base mensual.</p> <p>De manera específica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chimeneas de hornos de limpieza de escorias • Chimeneas de plantas de ácido • Chimeneas hornos de refinio 	<p>Chimeneas de secadores de concentrado de cobre</p> <p>Además: Chimeneas de otras fuentes industriales emisoras de arsénico existentes cuyo contenido de As en la alimentación sea superior a 0,005% en peso en base mensual.</p>
Alemania	<p>Chimeneas de fundiciones de cobre, abarcadas en la Sección 5.5 de la norma (5.4.3 en su versión anterior).</p> <p>Fundiciones de cobre, abarcadas en las Secciones 5.4.3.3a, 5.4.3.4.1a/2a, 5.4.3.7/8, 5.4.3.8, y Tabla 21 de la norma (Sección 5.4.3.3.1 en su versión anterior).</p>	<p>Secadores y tostadores de cobre</p> <p>Además de una serie de otras fuentes de la industria.</p>
China	<p>La norma se refiere a las empresas operadoras de la industria del cobre, el proceso de fundición de cobre está explícitamente mencionado, así como partes del proceso (e.g. dispositivos de control).</p>	<p>Secadores de concentrado de cobre</p> <p>Además: Empresas de la industria del níquel y cobalto (fundiciones).</p>

País	Detalles relativos a fundiciones	Otras fuentes reguladas
EEUU	<p>Fundiciones primarias de cobre.</p> <p>La norma final establece estándares para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hornos de fundición • Plantas de limpieza de escorias • Convertidores (solo para convertidores por lotes en la norma de 2002, y para todo tipo de convertidores en 2007) • Fuentes de polvo fugitivo asociadas con el manejo, transferencia y almacenamiento de concentrado de cobre, escoria, residuos, escoria, espesas y otros materiales sólidos que contienen cobre (2002 y 2007); • Plantas de ácido. 	<p>Secadores de concentrado de cobre (2002, 2007), tostadores de cobre (1976)</p> <p>Además: Existen otras NESHAP asociadas a emisión de arsénico inorgánico, incluyendo: plantas manufactureras de vidrio; plantas de recuperación de trióxido de arsénico y plantas de arsénico metálico</p>
Japón	<p>Fundición de cobre en su conjunto.</p> <p>De manera específica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horno de fundición • Convertidor • Alto horno para refinar cobre 	<p>Hornos de secado y Hornos de tostación de la industria del cobre</p> <p>Además de una serie de otras fuentes de la industria.</p>
Canadá	<p>Fundiciones y refinerías de metales comunes</p> <p>“Plantas de producción de cobre primario y zinc” (RAA)</p>	<p>Instalaciones de “preparación, concentración, aglomeración o secado de mineral, concentrado de mineral” (RAA)</p> <p>Además de una serie de otras fuentes emisoras industriales y no industriales (ej. Plantas de incineración).</p>
Zambia	<p>Fundiciones de cobre en su conjunto.</p> <p>De manera específica: Convertidores de cobre y otras instalaciones utilizadas en la producción de cobre</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de cemento y cal • Producción de ácido nítrico y ácido sulfúrico • Producción de fertilizantes • Unidades de combustión

Valores límites de emisión de arsénico en fundiciones de cobre

Punto de medición	País	Cont regulado directa	Valor [mg/Nm ³]	Frecuencia de verificación	Información adicional
Chimeneas de fundiciones de cobre	Alemania	As	0,00016	No aplica. Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.	Sin información adicional.
	Zambia	Polvo	0,5	Reportes mensuales, frecuencia de mediciones no especificada. Cualquier emisión anormal se debe reportar inmediatamente (*). <u>No mide arsénico directamente, sino que mide polvo.</u>	Polvo emitido de chimeneas de fundiciones de cobre.
Chimeneas de plantas de ácido/hornos de limpieza de escorias	Chile	As	1	Una vez al mes.	Fuentes emisoras nuevas y existentes.
Gases de escape de fundiciones de cobre	Alemania	As	0,05 Arsina: 0,5	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces).	Sin información adicional.
	China	As	0,4 Empresas existentes antes de 2012: 0,5	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).	Para fundiciones con volumen de escape >21.000 m ³ /t de cobre. La medición se debe realizar a la salida de las instalaciones de control/tratamiento de los gases de escape del proceso de fundición.
Dispositivos de control de fundiciones de convertidores	Estados Unidos (1986)	MP	11,6	Inspección mensual de los dispositivos de control de la contaminación del aire, no se especifica frecuencia de medición.	Para todas las fundiciones de cobre con tasas de alimentación de As anuales promedio a los convertidores >75 kg/h. <u>El límite es específico a MP, sin embargo, la regulación se enfoca en el control del As inorgánico contenido en MP emitido al aire para lo cual se requieren específicamente dispositivos de control para captura y recolección de las emisiones secundarias de los convertidores de este contaminante.</u>

Recomendación del **Banco Mundial** en materia de emisiones de As de fundiciones de cobre: **0,5 mg/Nm³ (1998)**

Valores límites de emisión específicos al arsénico de fundiciones de cobre establecidos por normas nacionales e internacionales

(*) En Zambia, los parámetros asociados a la medición de los contaminantes emitidos al aire en el caso de instalaciones industriales, empresas o proceso pueden ser definidos por la Inspección a cargo de otorgar la licencia de operar y/o permiso de emisión de contaminantes al aire.

Fuente: Elaboración propia

Otros contaminantes regulados en las normas analizadas

Normativas nacionales e internacionales recopiladas en materia de emisiones de arsénico y/o que regulan otros contaminantes de fundiciones de cobre

País	SO ₂	SO _x	MP / Polvo	Niebla de ácido sulfúrico	NO _x	NH ₃	Pb y compuestos de Pb	Hg y compuestos de Hg	Ni y compuestos de Ni	Cd y compuestos de Cd	Opacidad	Fluoruro	HCl	Cl	Sustancias inorgánicas	Dioxinas, furanos y bifenilos policlorados	Otras sustancias
Chile(*)	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	-
Alemania(*)	✓	✓	✓	✗	✓	✓	Compuesto clasificado en "Otras sustancias carcinogénicas"	Compuesto clasificado en "Otras sustancias carcinogénicas"	Compuesto clasificado en "Otras sustancias carcinogénicas"	✗	✗	✓	Compuesto clasificado en "sustancias orgánicas".	Compuesto clasificado en "sustancias orgánicas".	✓	✓	"Otras sustancias carcinogénicas".
China(*)	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	-
EEUU(*)	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	Antimonio Berilio Cobalto Manganeso Selenio
Japón	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	-
Canadá (RAA)	✓	✗	✓	✗	✓	✗		✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	S
Zambia(*)	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Cu

(*) Normas de países que regulan As de fundiciones de cobre y otras fuentes asociadas.

Límites de emisión para otros contaminantes de fundiciones de cobre en su conjunto (1)

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Chimeneas de fundiciones de cobre	Alemania (2020)		0,4 mg/m ³	Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
	Fundiciones de cobre	Zambia		1.000 mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación.
	Plantas de producción de cobre primario	Canadá (3)	Plantas existentes, desde 30/06/2012: 10% Previamente: 25%	S emitido en forma de SO ₂ en % de S de entrada prescrito	Monitoreo continuo. Se debe presentar cada año un informe detallado de azufre para cada mes del año completo, incluida la cantidad de ácido sulfúrico producido durante el año.
Plantas nuevas: 5%			Monitoreo continuo. Se debe presentar cada año un informe detallado de azufre para cada mes del año completo, incluida la cantidad de ácido sulfúrico producido durante el año.		
Hollín/Polvo	Fundiciones de cobre	Zambia		50 mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación.
MP/Partículas en general	Plantas de producción de cobre primario	Canadá (3)	Fuentes existentes desde 30/06/2012: 600 Hasta 30/06/2011: 1.200	mg/kg de material introducido	Muestreo en la fuente de los gases de escape al menos una vez al año. Las emisiones de MP se determinan por la suma de las emisiones del reactor, la fundición de escorias y matas, convertidores y hornos de ánodos de cobre. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en kg de MP/t de materiales introducidos en el proceso.
			Fuentes nuevas: 300	mg/kg de material introducido	Muestreo en la fuente de los gases de escape al menos una vez al año. Las emisiones de MP se determinan por la suma de las emisiones del reactor, la fundición de escorias y matas, convertidores y hornos de ánodos de cobre. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en kg de MP/t de materiales introducidos en el proceso.
MP10	Chimeneas de fundiciones	Alemania (2020)		0,8 mg/m ³	No aplica. Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.

Límites de emisión para otros contaminantes de fundiciones de cobre en su conjunto (2)

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
NO₂	Chimeneas de fundiciones	Alemania (2020)	0,0001	mg/m ³	No aplica. Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
Cd	Chimeneas de fundiciones	Alemania (2020)	0,0006	mg/m ³	No aplica. Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
	Polvo emitido de chimeneas de fundiciones de cobre	Zambia	0,05	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación (*). <u>No mide Cd directamente, sino que mide polvo.</u>
Pb	Polvo emitido de chimeneas de fundiciones de cobre	Zambia	0,2	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación (*). <u>No mide Pb directamente, sino que mide polvo.</u>
Hg	Chimeneas de fundiciones	Alemania (2020)	0,001	mg/m ³	No aplica. Este valor límite se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
	Fundiciones	Japón	[Hg] ≤ 0,05 mg/m ³ o Ver columna [Hg] _{particulado} ≤ 5% [Hg] _{total} y [Hg] _{particulado} ≤ 0,0025 mg/m ³	“Valor límite de emisión”	Valor promedio anual. Mediciones regulares, cada uno o dos meses (frecuencia a ser definida en base a la ocurrencia de valores que superan el estándar).
	Plantas de producción de cobre primario	Canadá (3)	Fuentes existentes: 2	mg/kg de ánodos	Muestreo en la fuente de los gases de escape al menos una vez al año. Las emisiones de Hg corresponden a la suma de las emisiones del reactor, convertidores y hornos de ánodos. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en g/t de ánodos de cobre producidos.
			Fuentes nuevas: 0,2	mg/kg de ánodos	Muestreo en la fuente de los gases de escape al menos una vez al año. Las emisiones de Hg corresponden a la suma de las emisiones del reactor, convertidores y hornos de ánodos. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en g/t de ánodos de cobre producidos.
Polvo emitido de chimeneas de fundiciones de cobre	Zambia	0,05	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación. <u>No mide Hg directamente, sino que mide polvo.</u>	

Límites de emisión para gases de escape de fundiciones de cobre (1)

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		500 mg/m ³	Medición continua en plantas donde emisiones SO ₂ > 30 kg/h y Medición discreta: Duración específica a lote, inferior o igual a 24 horas.
	Sistemas de recolección de humos (gases de escape)	China (2010)	Empresas existentes antes de 2012: 960	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
	Sistemas de recolección de humos (gases de escape)	China (2010)	Empresas nuevas y existentes desde 2012: 400	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
Niebla de ácido sulfúrico	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape	China (2010)	Empresas existentes antes de 2012: 45	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
			Empresas nuevas y existentes desde 2012: 40	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
Hollín/Polvo	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		5 mg/m ³	Medición continua en plantas donde emisiones Polvo > 3 kg/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos (se especifica que aplica también para plantas de tostación)
MP/Partículas	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape	China (2010)	Empresas existentes antes de 2012: 100	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
			Empresas nuevas y existentes desde 2012: 80	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
	Gases de escape del sistema de captura secundario de CPS	Estados Unidos (2007)	Fuentes existentes: 46	mg/m ³	Monitoreo continuo Exigencia de reporte de fugas o fallas dentro de las 24 horas siguiendo la detección. Sistemas de captura secundarios: Por ejemplo, filtro de mangas. <u>Aplica solo para fuentes emisoras existentes que usan convertidores de cobre por lotes que no están asociados a un sistema de limpieza de gases que controle el MP ni a una planta de ácido sulfúrico.</u>
	Gases de escape de uno o varios equipos	Estados Unidos (2007)	Fuentes nuevas: 300	g/t concentrado que ingresa al equipo	Monitoreo continuo, con registro diario (valores promedio de 24 horas). Aplica para chimeneas, salidas de gases u otras aperturas en hornos, reactores u otros procesos de la fundición (incluye secadores).
MP10	Gases de escape de chimeneas u otros puntos de descarga	Estados Unidos (2007)	Fuentes existentes: 41	kg/h	Monitoreo continuo Promedio de 24 horas Incluye secadores de concentrado de cobre, hornos/reactores de fusión, convertidores, plantas de secado y molienda de mate, sistemas de control de gases secundarios y unidades de refinación de ánodos. <u>Aplica solo para fuentes emisoras existentes que no usan convertidores de cobre por lotes.</u>

Límites de emisión para gases de escape de fundiciones de cobre (2)

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
NO ₂	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		350 mg/m ³	Medición continua en plantas donde emisiones NO ₂ > 30 kg/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos Medición en gases de escape de NO ₂ y NO, expresado en NO ₂ .
Cd y compuestos de Cd	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		0,2 mg/m ³	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces).
Pb y compuestos de Pb	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		0,5 mg/m ³	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces).
	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape	China (2010)		0,7 mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
Hg	Gases de escape de fundiciones	Alemania (2020)		0,4 mg/m ³	Medición continua en plantas donde emisiones Hg > 2,5 g/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos
	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape	China (2010)		0,12 mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).

Límites de emisión para plantas de tostación

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Tostadores	Estados Unidos (1976)	1.703 (650)	mg/m ³ (ppm)	Continuo. Tiempo de muestreo: 6 horas
Hollín/Polvo	Plantas de tostación	Alemania (2020)	5	mg/m ³	Medición continua en plantas donde emisiones Polvo > 3 kg/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos
	Hornos de tostado	Japón (2)	General: 100 - 150 Por área específica, según catastro oficial: 50 - 80	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
NO _x	Hornos de tostado	Japón (2)	451	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
Cd y compuestos de Cd	Hornos de calcinación	Japón (2)	1,0	mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como cadmio según el método prescrito en JIS K0083.
Pd y compuestos de Pd	Hornos de calcinación	Japón (2)	10	mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como cadmio según el método prescrito en JIS K0083.

Límites de emisión en secadores

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Secadores (gases de escape)	China (2010)	Empresas existentes antes de 2012: 800	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible).
	Secadores (gases de escape)	China (2010)	Empresas nuevas y existentes desde 2012: 400	mg/m ³	No especificado, de acuerdo a las especificaciones técnicas nacionales pertinentes para el seguimiento de las fuentes de contaminación (información no disponible). Este valor límite aplica también para los gases de escape generados durante el proceso completo de fundición en fuentes nuevas y existentes desde 2012.
Hollín/Polvo	Hornos de secado	Japón (2)	General: 150 - 200 Por área específica, según catastro oficial: 80 -100	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
MP/Partículas	Chimeneas de secadores	Chile	Fuentes existentes: 50	mg/m ³	Medición 1 vez al mes
			Fuentes nuevas: 30	mg/m ³	Medición 1 vez al mes
	Hornos de secado	Canadá (3)	30	mg/m ³	Muestreo en la fuente de los gases de escape al menos una vez al año. Las emisiones de MP se determinan por la suma de las emisiones del reactor, la fundición de escorias y matas, convertidores y hornos de ánodos de cobre. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en kg de MP/t de materiales introducidos en el proceso. Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos
	Secadores	Estados Unidos (1)	Fuentes existentes: 50	mg/m ³	<u>Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes.</u> Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos
			Fuentes nuevas (posteriores a 1998): 23	mg/m ³	<u>Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes.</u>
	Secadores (gases de escape)	Estados Unidos (2007)	Fuentes existentes (anteriores a 10/2006): 50	mg/m ³	Monitoreo continuo <u>Aplica solo para fuentes emisoras existentes que usan convertidores de cobre por lotes.</u>
NO _x	Hornos de secado	Japón (2)	369	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
Cd y compuestos de Cd	Hornos de secado	Japón (2)	1,0	mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como cadmio según el método prescrito en JIS K0083.
Opacidad	Hornos de secado	Canadá (3)	20%, recomendado 40%, máximo aceptable	Sin unidad	Monitoreo continuo y Medición discreta durante 60 minutos
	Secadores de fundiciones de cobre	Estados Unidos (1976)	20%	Sin unidad	Continuo. Cualquier período de seis minutos durante el cual la opacidad promedio exceda el estándar se debe reportar.

Límites de emisión para hornos de fusión

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Hornos de fundiciones	Estados Unidos (1976)	1703 mg/m ³ (650) (ppm)		Continuo. Tiempo de muestreo: 6 horas
SO _x	Calderas	Japón (2)	1) Emisión admisible = $K \cdot 10^{-3} \cdot He^2$ Estándar de emisión general: K = 3,0 - 17,5 Estándar de emisión específico: K = 1,17 - 2,34 2) Estándar de uso de combustible Contenido de azufre: menos de 0,5 - 1,2% 3) Regulación de la emisión total a la medida	m ³ /h	Horario, extrayendo aire atmosférico continuamente durante una hora.
Hollín/Polvo	Hornos de fundiciones	Japón (2)	General: 100 - 200 Por área específica, según catastro oficial: 50 -100	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
MP/Partículas	Emisiones fugitivas de hornos de fusión durante procesos de la extracción de mata y escoria	Estados Unidos (1)		23 mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos <u>Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes.</u>
	Secadores (gases de escape)	Estados Unidos (2007)	Fuentes existentes (anteriores a 10/2006): 51	mg/m ³	Monitoreo continuo <u>Aplica solo para fuentes emisoras existentes que usan convertidores de cobre por lotes.</u>
NO _x	Hornos de fundiciones	Japón (2)		370 mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
Cb y compuestos de Cb	Hornos de fundiciones	Japón (2)		1,0 mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como plomo según el método prescrito en JIS K0083.
Pb y compuestos de Pb	Hornos de fundiciones	Japón (2)		10 mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como plomo según el método prescrito en JIS K0083.

Límites de emisión para convertidores

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Convertidores	Estados Unidos (1976)	1.703 (650)	mg/m ³ (ppm)	Continuo. Tiempo de muestreo: 6 horas
Hollín/Polvo	Convertidores	Japón (2)	General: 150 Por área específica, según catastro oficial: 80	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
MP/Partículas	Gas de escape de convertidores transferidos a planta de ácido sulfúrico	Estados Unidos (1)	6,2 (MP sin ácido sulfúrico)	mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos <u>Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes.</u>
	Emisiones fugitivas de convertidores	Estados Unidos (1)	23	mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos. <u>Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes.</u>
Cd y compuestos de Cd	Convertidores	Japón (2)	1,0	mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como plomo según el método prescrito en JIS K0083.
	Convertidores de cobre	Zambia	0,05	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación.
Pb y compuestos de Pb	Convertidores	Japón (2)	10	mg/m ³	Cantidad recolectada según el método prescrito en JIS Z8808 y medida como plomo según el método prescrito en JIS K0083.
	Convertidores de cobre	Zambia	0,2	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación.
Hg	Convertidores de cobre	Zambia	0,05	mg/m ³	Reportes mensuales. Frecuencia exacta no especificada, a ser definida en permiso de operación (*).
Opacidad	Convertidores por lotes (CPS y convertidores Hoboken)	Estados Unidos (1)	4%	Sin unidad	Frecuencia no especificada. Valor promedio calculado con al menos 120 intervalos de 1 minuto medidos en el punto de máxima opacidad, durante los cuales al menos un convertidor de cobre está soplando sin interferencias (2002).
	Precipitadores electrostáticos de convertidores por lotes	Estados Unidos (2007)	Fuentes existentes (anteriores a 10/2006): 4%	Sin unidad	Monitoreo continuo de opacidad (COMS) Intervalos de 24 horas Se utiliza para cumplir indirectamente con el valor límite de MP para convertidores por lotes. En un funcionamiento en régimen de la fundición, se debe realizar una investigación si se supera el 15% de opacidad en 24 horas.

Límites de emisión para Hornos de Limpieza de escorias

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
MP/Partículas	Chimeneas de hornos de limpieza de escorias	Chile	Fuentes existentes: 50	mg/m ³	Medición 1 vez al mes
			Fuentes nuevas: 30	mg/m ³	Medición 1 vez al mes
	Gas de escape de instalaciones de limpieza de escorias transferidos a planta de ácido sulfúrico	Estados Unidos (1)	6,2 (MP sin ácido sulfúrico)	mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes
Hollín/Polvo	Gas de escape de instalaciones de limpieza de escorias transferidos a depurador húmedo	Estados Unidos (1)	46 (Partículas totales)	mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes
	Hornos de limpieza de escorias a carbón	Japón (2)	General: 150 Por área específica, según catastro oficial: 80	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
NO _x	Hornos de limpieza de escorias	Japón (2)	922	mg/m ³	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes

Límites de emisión para Plantas de ácido sulfúrico

Contaminante	Punto de medición	País	Valor límite de emisión	Unidad	Frecuencia de verificación y otras características de la medición
SO ₂	Chimeneas de planta de ácido	Chile	1.572 (600)	mg/m ³ (ppm)	Concentración promedio horaria durante cada hora de operación de la planta de ácido de una fundición de cobre existente.
			1.048 (400)	mg/m ³ (ppm)	Concentración promedio horaria durante cada hora de operación de la planta de ácido de otra fuente industrial emisora de arsénico existente.
			524 (200)	mg/m ³ (ppm)	Concentración promedio horaria durante cada hora de operación de la planta de ácido para fuentes emisoras nuevas.
S	Plantas de ácido sulfúrico	Canadá (3)	Al menos 96% de eficiencia en la fijación de S de gases de escape	Sin unidad	Solo se especifica el informe a presentar con el detalle del azufre emitido, para cada mes del año completo.
MP/Partículas	Gas de cola de plantas de ácido sulfúrico de hornos de fusión	Estados Unidos (1)	6,2 (MP sin ácido sulfúrico)	mg/m ³	Mensual. Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos Aplica solo para fundiciones con convertidores por lotes
Hg	Chimeneas de planta de ácido	Chile	Fuentes nuevas (solo): 0,1	mg/m ³	Medición 1 vez al mes
Opacidad	Plantas de ácido	Estados Unidos (1976)	20%	Sin unidad	Continuo. Cualquier período de seis minutos durante el cual la opacidad promedio exceda el estándar se debe reportar.

Efectos sobre la salud identificados en las normas de

País	Efectos en salud	Fuente: Elaboración propia
Chile	<p>La norma sólo menciona “efectos adversos crónicos y agudos sobre la salud de las personas” (MMA, 2013a).</p> <p>El informe de beneficios de norma de emisión para fundiciones de cobre (GEOAIRE, 2012) identifica efectos para distintos contaminantes (MP2,5, SO2, As, Pb, Hg, Cd). En particular se destacan los efectos de arsénico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cáncer a la piel • Cáncer al pulmón • Cáncer a la vejiga • Mortalidad cardiovascular • Muerte fetal <p>De estos solo se cuantifica la reducción de mortalidad anual por cáncer al pulmón según escenario regulatorio. Además, el informe de GEOAIRE menciona otros efectos en la salud provocados por la exposición a otros contaminantes en el aire, ej. admisión hospitalaria por causas respiratorias y cardiovasculares, en el caso de SO2, pérdida de coeficiente intelectual en niños, en el caso de Pb y Hg.</p>	
Alemania	<p>En la versión actual completa la regulación (Bundesrat, 2020) y en su versión antigua, no se mencionan ni se explicitan los impactos a la salud, pero sí se hace referencia a las clasificaciones oficiales de la OMS y otras entidades expertas de las sustancias peligrosas y carcinogénicas. En estas, se proporcionan valores de inmisión a no superar en materia de exposición total para no poner en peligro la salud de los seres humanos; se entregan valores límites específicos a 7 sustancias y/o grupos de sustancias que no se deben exceder en ningún punto de evaluación (Tabla 1 de la regulación). Adicionalmente, se proporciona una clasificación de las sustancias cancerígenas según tres clases, según su peligrosidad, y flujos máxicos asociados que no deben ser superados en los gases de escape de las instalaciones.</p> <p>En la nueva versión de este reglamento (Bundesrat, 2020) y en una versión complementaria de esta (Bundesrat, 2020), se mencionan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los "Límites de exposición ocupacional" (TRGS 900) (AGS, 2006) y las "Reglas Técnicas para Sustancias Peligrosas" (TRGS 905) (AGS, 2016) que reflejan el estado del arte, medicina ocupacional e higiene industrial, así como otros conocimientos científicos confiables para actividades con sustancias peligrosas, • El Anexo VI del Reglamento (CE) No. 1272/2008 (Comisión Europea, 2008) que califica la peligrosidad de sustancias químicas en categorías según un código de clasificación de sustancias peligrosas (carcinogénicas, mutagénicas y tóxicas para la reproducción, entre otras). 	
China	No se mencionan los efectos sobre la salud en el cuerpo de la norma revisada.	

País	Efectos en salud
EEUU	<p>Los antecedentes de la norma referencian el “Health Assessment Document for Inorganic Arsenic” (US-EPA, 1984), donde se presentan las propiedades del arsénico, su distribución, metabolismo y toxicología (incluyendo propiedades cancerígenas).</p> <p>Entre los efectos de salud asociados a la exposición vía aire, se identifica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos agudos frente a altos niveles de concentración (e.g. irritación severa de mucosa nasal, laringe, y bronquios). • Efectos ante exposición crónica cancerígenas (e.g. Cáncer y lesiones pre cancerígenas, mortalidad por cáncer pulmonar y cáncer de piel) • Otros efectos ante exposición crónica (e.g. efectos neurológicos, cardiovasculares). <p>Se cuantifica el exceso de riesgo de cáncer. Además, la norma de 2002 indica que los compuestos metálicos HAP emitidos por las fundiciones primarias de cobre regulados por esta (a saber, antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cobalto, plomo, manganeso, níquel y selenio), están asociados con una variedad de efectos adversos para la salud.</p>
Japón	<p>El propósito principal de la regulación japonesa es proteger la salud de las personas (mencionado en artículo 1 de la Ley de Control de la Contaminación del Aire de Japón (Ministry of the Environment, 1968) y varias otras ocasiones).</p> <p>En el cuerpo del Reglamento para la aplicación de la Ley de control de la contaminación atmosférica (MHLW & MLIT, 2017), solo se mencionan los efectos a la salud de otros contaminantes del aire, a saber el asbesto y las partículas radioactivas.</p>
Canadá	<p>En los antecedentes revisados en el marco de la inclusión del arsénico y sus compuestos inorgánicos (Government of Canada, 2007) en la Lista de Sustancias Tóxicas, se identificaron los siguientes efectos a la salud:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posible relación exposición-reacción entre inhalación de arsénico y cáncer de pulmón en trabajadores de fundición. • Posible exceso de incidencia de cáncer de pulmón o mortalidad asociada. <p>También se menciona que los estudios revisados por las autoridades en el marco de la elaboración de las normas revisadas para este estudio se centraron en los efectos de la exposición al arsénico y que no se tuvo en cuenta la exposición simultánea al SO2 en todos los estudios, y que tampoco se consideró la información sobre el hábito tabáquico de los sujetos en todos los antecedentes revisados.</p>
Zambia	Solo se menciona la relevancia de que el Consejo de Medio Ambiente evalué la calidad del aire ambiente con el fin de salvaguardar la salud general, la seguridad o el bienestar de las personas, la vida animal, la vida vegetal o la propiedad afectada por las obras, las actividades industriales o comerciales realizadas por un operador.

Cobeneficios identificados en el análisis de las normas de emisión

País	Co-beneficios
Chile	<p>La norma sólo menciona la prevención del riesgo sobre la calidad de vida y el medio ambiente (MMA, 2013a). Como co-beneficios, el informe de beneficios de norma de emisión para fundiciones de cobre (GEOAIRE, 2012) identifica beneficios por la reducción de otros contaminantes que As, en salud (fundamentalmente por reducción de MP2,5), agricultura, visibilidad y materiales.</p> <p>De estos se cuantifica reducción en la mortalidad, admisiones hospitalarias, visita a sala de urgencia ausentismo y actividad restringida, como co-beneficios en salud. También se valorizan beneficios en agricultura por la reducción de SO₂, beneficios en visibilidad por la reducción del material particulado y NO_x, y sobre materiales por efecto del MP.</p> <p>Además, la norma explica que los valores límites para arsénico se fijaron según la mayor eficiencia y costo efectividad en las reducciones de emisión logradas, y en base a las mejores técnicas disponibles para lograr dicha disminución. Se tomó en cuenta el criterio de no imponer costos incrementales para las fundiciones en operación que en su resolución de calificación ambiental ya tienen límites de emisión menores a lo que impone el D.S. 28/2013, las que corresponden a Altonorte y Chagres (MMA, 2013a).</p>
Alemania	<p>En cuanto a requisitos generales en materia de energía para limitar las emisiones, la norma entrega medidas para ahorrar energía, incluida la energía eléctrica, y para utilizar la energía de manera eficiente que pueden aplicar al modernizar todo tipo de fuente emisora, que pueden ser consideradas como generadoras de co-beneficios del control de las emisiones de arsénico y de otros contaminantes. Esto considera medidas generales, y medidas específicas a la energía térmica (e.g. uso de sistemas de postcombustión de energía optimizada, como la postcombustión regenerativa o recuperativa) y a la energía eléctrica (e.g. optimización de los sistemas de aspiración con el fin de reducir los caudales volumétricos de los gases de escape a descargar y tratar).</p> <p>La norma menciona que las medidas deben determinarse teniendo en cuenta los resultados de los sistemas de gestión operativos y sus posibles efectos sobre las reducciones de emisiones directas o indirectas.</p> <p>Si bien no se formula de manera explícita en la norma, lo anterior conlleva co-beneficios ambientales implícitos como el ahorro y la optimización de los recursos naturales, y la limitación de las emisiones de GEI (2002).</p>
China	No se identificaron co-beneficios en la regulación revisada.

País	Co-beneficios
Estados Unidos	Si bien se mencionan los impactos a la salud de manera precisa en los antecedentes de esta norma en el "Health Assessment Document for Inorganic Arsenic" (US-EPA, 1984), también se mencionan en el documento "EPA's Emission Standards for Low-Arsenic Primary Copper Smelters" (US-EPA, 1987) asociado a esta norma las consecuencias económicas asociadas a la implementación de un estándar demasiado estricto y costoso, el que elimine de manera completa los riesgos a la salud de la exposición al arsénico en el aire. La EPA concluye que, ante posibles consecuencias económicas drásticas que podrían ser provocadas por una norma de ese tipo, es aceptable considerar que algún nivel de riesgo residual proporciona un amplio margen de seguridad para proteger la salud pública. Por lo tanto, la EPA estableció los estándares de emisión de arsénico inorgánico a un nivel que puede presentar algún riesgo para la salud humana, con el fin de asegurar que se obtuvieran cobeneficios económicos en comparación con un escenario regulatorio más estricto. Finalmente, bajo el mismo enfoque, en el estándar complementario a esta norma (US-EPA, 2002b), la EPA menciona que de acuerdo a la estimación de los costos de cumplimiento con dicho estándar incurridos por los dueños y operadores de fundiciones, se evaluó que en comparación con los ingresos de producción estimados para cada fundición afectada, los costos totales anualizados son mínimos.
Japón	<p>En la Ley de control de la contaminación del aire (Ministry of the Environment, 1968) se menciona la voluntad de lograr un mejoramiento de las políticas públicas en la materia gracias al reporte y monitoreo adecuado de los datos.</p> <p>Los planes voluntarios tienen tanto el enfoque de la contaminación del aire como también la reducción de los GEI, esto conlleva de manera indirecta co-beneficios en ambos casos.</p>
Canadá	<p>Si bien no se identificaron co-beneficios en la regulación revisada, en el estudio de Fonderie Horne (Fonderie Horne, 2019) se habla de implementar proyectos y medidas de mitigación de las emisiones de arsénico, dando como ejemplo un proyecto que permitiría reducir la huella ambiental y las emisiones de GEI de la fundición.</p> <p>Además, se indica que en el marco de un estudio de 2018 asociado a la regulación de la actividad de la Fundición Horne de Rouyn-Noranda, se encontró que "la concentración de arsénico es en promedio 3,7 veces mayor en las uñas de los niños del distrito de Notre-Dame (el de la fundición) en comparación con otro grupo de control" y es asociada a los depósitos de polvo en los suelos aledaños a la fundición (no se observó una correlación similar en el caso del material en suspensión en el aire). Por lo anterior, además de permitir la reducción de la exposición directa al arsénico en otros medios que el aire, la regulación permitiría limitar la acumulación de arsénico a largo plazo en los sujetos viviendo en las zonas impactadas por las emisiones.</p>
Zambia	No se identificaron co-beneficios en la regulación revisada.

Métodos de medición por contaminante y parámetros regulados (1)

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Chile	As	Chimeneas de hornos de limpieza de escorias de fundiciones existentes y nuevas. Chimeneas de plantas de ácido de fundiciones existentes y nuevas Otras fuentes: Chimeneas de plantas de ácido de otras fuentes industriales emisoras de As.	1. Emisión anual – Balance de Masa 2. Emisión chimenea – Medición discreta CH-29 denominado "Determinación de emisión de metales desde fuentes fijas", aprobado por el Ministerio de Salud	1. Mensual/anual 2. Mensual
	SO ₂	Chimeneas de plantas de ácido de fundiciones existentes y nuevas, y de otras fuentes industriales emisoras de As.	1. Emisión anual- Balance de Masa 2. Emisión chimenea – Monitoreo continuo	1. Mensual/anual 2. Continuo
	MP	Chimeneas de secadores y hornos de limpieza de escorias en fundiciones existentes y nuevas.	Emisión chimenea – Medición discreta CH-5 denominado "Determinación de las emisiones de partículas desde fuentes estacionarias", aprobado por el Ministerio de Salud	Mensual
	Hg	Chimeneas de plantas de ácido de fundiciones nuevas	Emisión chimenea – Medición discreta CH-29 denominado "Determinación de emisión de metales desde fuentes fijas", aprobado por el Ministerio de Salud	Mensual
	Opacidad	Chimeneas de los hornos de refinación en fundiciones existentes y nuevas.	Emisión chimenea – Método 9 (Escala Ringelmann) Determinación visual de la opacidad de las emisiones de fuentes estacionarias de la US-EPA (40 CFR Part 60)	No especificado

□ Métodos de medición (1)

Métodos de medición por contaminante y parámetros regulados (2)

Fuente: Elaboración propia

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Alemania	As	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre y chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo Medición discreta	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces). Sin información adicional. En chimeneas, la medición se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
	SO ₂	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre y chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo, o específico a lote	Medición continua en plantas donde emisiones SO ₂ > 30 kg/h y Medición discreta: Duración específica a lote, inferior o igual a 24 horas.
	Polvo	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo Medición discreta	Medición continua en plantas donde emisiones Polvo > 3 kg/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos
		Plantas de tostación		Medición continua
	MP10	Chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo	La medición se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
NO ₂	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre y chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo Medición discreta	Medición continua en plantas donde emisiones NO ₂ > 30 kg/h Medición en gases de escape de NO ₂ y NO, expresado en NO ₂ En chimeneas, la medición se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.	

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Alemania	Cd y compuestos de Cd	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre y chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces). En chimeneas, la medición se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.
			Medición discreta	
	Pb y compuestos de Pb	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre	Medición continua	Medición discreta: promedio de 30 minutos, y Medición continua obligatoria en función del número de límites excedidos establecidos (10 veces).
			Medición discreta	
Hg	Gases de escape de plantas de fundiciones de cobre y chimeneas de fundiciones de cobre	Monitoreo continuo Medición discreta	Medición continua en plantas donde emisiones Hg > 2,5 g/h y Medición discreta: promedio de 30 minutos En chimeneas, la medición se utiliza solo en el cálculo de la dispersión del contaminante para determinar la altura de la chimenea.	

Análisis comparativo de Chile y países fundidoros

Métodos de medición por contaminante y parámetros regulados

Fuente: Elaboración propia

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
China	As	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape de fundiciones de cobre	Determinación de arsénico en aire y gases de escape - Método espectrofotométrico de dietilditiocarbamato de plata, provisional (ref. HJ 540-2009) (MEP, 2009). Determinación de arsénico en emisión de fuente estacionaria - Método espectrofotométrico de dietilditiocarbamato de plata (ref. HJ 540-2016) (MEP, 2016).	No especificado
	SO ₂	Sistemas de recolección de humos (gases de escape) Secadores de fundiciones de cobre	Requisitos de monitoreo de contaminantes del aire con estándares de métodos específicos oficiales, listados en la Tabla 8 de la norma.	No especificado
	Niebla de ácido sulfúrico			
	MP/Partículas Pb y compuestos de Pb Hg	Dispositivos de control/tratamiento de gases de escape de fundiciones de cobre	Requisitos de monitoreo de contaminantes del aire con estándares de métodos específicos oficiales, listados en la Tabla 8 de la norma.	No especificado

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Estados Unidos	As	Gases de escape de dispositivo de control de todas las fundiciones primarias de cobre nuevas y existentes	Tasa alimentación de convertidores – según método 108A de la EPA (US-EPA, 1986a) Períodos donde la fundición de cobre primaria contiene un alto nivel de impurezas volátiles: Registro mensual de la carga total de la fundición y el porcentaje en peso (base seca) de As en esta carga.	Inspección mensual de los dispositivos de control de la contaminación del aire, no se especifica frecuencia de medición. Nota: <u>El límite es específico a MP</u> , sin embargo, <u>la regulación se enfoca en el control del As inorgánico contenido en MP emitido al aire</u> para lo cual se requieren específicamente dispositivos de control para captura y recolección de las emisiones secundarias de los convertidores de este contaminante.
	SO ₂	Chimeneas de cualquier tostador, horno de fundición o convertidor de cobre (2015) Excluye los hornos de fundición de reverberación durante los períodos en que la carga total de fundición en la fundición de cobre primaria contenga un alto nivel de impurezas volátiles	Sistema de monitoreo continuo con amplitud de concentración de SO ₂ promedio durante 6 horas. La desviación del sistema de monitoreo durante la ejecución no puede exceder el 2% del valor del intervalo.	Continuo Tiempo de muestreo: 6 horas Reporte de los periodos de exceso de emisiones: Cualquier intervalo de 6 horas que exceda el estándar, con flexibilidad de 1,5% para instalaciones que cumplen con el resto de la normativa (2015).
	MP	Gases de escape del dispositivo de control (1986 y 2007)	Norma de 1986: Emisión chimenea – Medición discreta método 5 de la EPA (US-EPA, 2020) Norma de 2007: Monitoreo continuo de acuerdo con la Especificación de desempeño 11 de la EPA en 40 CFR parte 60, apéndice B (EPA Performance Specification 11).	Medición discreta: Frecuencia mensual Tiempo de muestreo: Mínimo 60 minutos Volumen de la muestra: 0,85 dscm (30 dscf). Monitoreo continuo: Frecuencia diaria Tiempo de muestreo: 24 horas, en base a lo cual se estima la carga total de MP por tonelada de concentrado que ingresa a la fundición.
	Opacidad	Gases de escape de dispositivos de control (2007), de convertidores por lotes y secadores (2002), y flujo de aire de la campana secundaria del convertidor (1986)	Sistema de monitoreo continuo según método 9 (US-EPA, 1993), con amplitud entre 80 y 100% de opacidad (2007, 2015). Requisitos de presentación de informes desde 1986: (1) Informes anuales de la tasa promedio de carga de arsénico inorgánico a los convertidores; (2) informes trimestrales de flujos de aire inferiores al 80% del caudal de referencia; (3) informes trimestrales de niveles excesivos de opacidad.	Continuo desde 1976. Valor promedio calculado con al menos 120 intervalos de 1 minuto (2002). Sistema de monitoreo continuo de opacidad “COMS” (norma de 2007) Reporte de intervalos de 24 horas y de los periodos de exceso de emisiones: Cualquier intervalo de 6 minutos que exceda el estándar (2007, 2015).

Análisis comparativo de Chile y países fundidores de cobre

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Japón	SO _x	Chimeneas de calderas y hornos de fusión de fundiciones de cobre	Método conductimétrico Nota: El promedio de un día de los valores horarios se calcula como un promedio aritmético de los valores medidos durante todas las horas de medición válidas en un día (pero solo si esto es al menos 20 horas.	Horario, extrayendo aire atmosférico continuamente durante una hora Cálculos por realizar de acuerdo a valores de K según catastro oficial.
	Hollín y polvo	Horno de secado Horno de tostación Horno de limpieza de escorias Alto horno (horno de limpieza de escorias que utiliza carbón o coque como combustible o agente reductor) Horno de fusión	Aplica solo para instalaciones de capacidad de consumo de materias primas superiores o iguales a 0,5 t/h. Directrices para el uso de muestreador de aire de alto volumen o un muestreador de aire de bajo volumen.	4 horas consecutivas en una sola ocasión una vez o más al mes
	NO _x	Convertidores Horno de tostación Horno de limpieza de escorias Alto horno (horno de limpieza de escorias que utiliza carbón o coque como combustible o agente reductor) Horno de fusión	Calculado de los parámetros C medido y On, siendo C la cantidad de óxidos de nitrógeno en centímetro cúbico y On el valor correspondiente proporcionado en la Tabla 3-2 de la norma (MHLW & MLIT, 2017).	Aplica solo para instalaciones de capacidad de consumo de materias primas superiores o iguales a 0,5 t/h.
	Pb y compuestos de Pb	Hornos de fusión Convertidores	Cantidad recolectada por el método prescrito en JIS Z8808 y medida como plomo por el método prescrito en JIS K0083.	No especificado
	Cd y compuestos de Cd	Hornos de fusión	Cantidad recolectada por el método prescrito en JIS Z8808 y medida como cadmio.	No especificado
				Valor promedio anual

País	Contaminantes y parámetros regulados	Punto de medición de la(s) fuente(s) regulada(s)	Método de medición	Frecuencia y otras características de la medición
Canadá ⁽¹⁾	SO ₂	Planta de producción de cobre primario	Monitoreo y grabación continuos de concentración y caudal de los gases emitidos a la atmósfera. Mínimo de 5 estaciones de muestreo. – según procedimiento establecido por EPA en “List of designated reference and equivalent methods” (US-EPA, 2021a).	Continuo
	Partículas	1. Planta de producción de cobre primario existentes y nuevas 2. Instalación de secado de mena. Aplicable en cada uno de los puntos de emisión de gases de escape secos.	1. Monitoreo y grabación continuos 2. Muestreo en la fuente de los gases emitidos a la atmósfera para calcular la tasa de emisión de partículas Las emisiones de MP se determinan por la suma de las emisiones del reactor, la fundición de escorias y matas, convertidores y hornos de ánodos de cobre. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en kg de MP/t de materiales introducidos en el proceso.	1. Continuo 2. Al menos una vez al año
	Hg	Planta de producción de cobre primario existentes y nuevas	Muestreo en la fuente de los gases emitidos a la atmósfera para calcular la tasa de emisión de mercurio. Las emisiones de Hg corresponden a la suma de las emisiones del reactor, convertidores y hornos de ánodos. Las emisiones se calculan, sobre una base anual, en g/t de ánodos de cobre producidos.	Al menos una vez al año
	Opacidad	1. Instalaciones de secado de mena 2. En todos los puntos de emisiones donde la opacidad es máxima (RAA)	1. Monitoreo y grabación continuos. 2. Medición discreta según la escala de medición de Micro-Ringelmann (Anexo D, RAA).	2. Medición discreta durante 60 minutos 240 observaciones en 60 minutos, o dos veces 30 minutos con una interrupción de medio tiempo (120 obs. en 30 min. en 2 ocasiones)
Zambia ⁽²⁾	As	Polvo de instalaciones de producción de cobre, incluidas las fundiciones y convertidores de cobre	Dispositivo de medición de aire y sistema interno de monitoreo de emisiones al aire para todos los contaminantes del aire regulados. Medición discreta en emisiones de polvo de fundiciones de cobre.	Reportes mensuales de emisiones, no se especifica frecuencia de mediciones.
	SO ₂	Fundiciones y convertidores de cobre	Medición discreta solo de SO ₂ . Medición discreta de SO ₂ en combinación con partículas en suspensión.	Reportes mensuales de emisiones, no se especifica frecuencia de mediciones.
	Hollín/Polvo	Fundiciones y convertidores de cobre Preparación del carbón en la producción de cobre	Medición discreta de la caída de polvo.	Reportes mensuales de emisiones, no se especifica frecuencia de mediciones.

Análisis comparativo de Chile y países fundidores de cobre

Ejemplos de alternativas o equipos complementarios para mejorar el control de las emisiones

Fuente: Elaboración propia

País	Equipo/Instrumento	Ejemplo y/o Detalles
Chile	Prácticas operacionales para reducir emisiones al aire	<ul style="list-style-type: none"> - Informar a lo menos con un mes de anticipación, a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del Medio Ambiente respectiva, sobre el encendido o detención programada de la planta de ácido y del horno de fusión, así como también la duración de cada período de mantención. - Incorporar ciertas directrices en el Plan de operación y mantención de los sistemas de captura de gases; por ejemplo, un plan de contingencia que tenga por objetivo informar a las autoridades inmediatamente cuando ocurra un evento, así como las acciones correctivas para enfrentar las fallas relacionadas con fugas o emisiones al aire, y la implementación de un sistema de detección de rotura de manga.
	Compensación o cesión de emisiones	Como instrumento de incentivo a la reducción de emisiones más allá de los umbrales establecidos, en su Artículo 10, la norma establece la posibilidad de compensación o cesión de emisiones para las fuentes emisoras que reduzcan emisiones para cumplir con los límites establecidos. Estas sólo podrán compensar o ceder emisiones si acreditan una reducción adicional, permanente y verificable a lo requerido para el cumplimiento de la presente norma.
China	Procesos de producción y los equipos que producen contaminantes atmosféricos	Sistema de recolección de gas local o general y un dispositivo de tratamiento de purificación centralizado, en los que el gas purificado se descarga por el tubo de escape cuya altura está definida en esta normativa (Sección 4.2.6).
Estados Unidos	Convertidores de cobre por lotes (batch copper converters).	La normativa estadounidense fue pionera en cuanto al uso de sistemas de captura tales como sistemas de campana de cortina de aire y uso de campanas primarias. En las regulaciones revisadas, se especifica que al usar esos equipos a una tasa de ventilación sustancialmente más alta que lo habitual permite lograr una mayor eficiencia de captura y emisiones fugitivas mínimas.
Japón	Compensación económica por pérdidas y daños provocados por contaminantes	<p>Compensación económica de las personas por pérdidas y daños provocados por la emisión o dispersión a la atmósfera de una sustancia nociva para la salud humana en asociación con actividades comerciales en una fábrica o lugar de negocios.</p> <p>Aplicable hasta 3 años después del perjuicio (Capítulo IV-2), el tribunal está encargado de definir el monto de la compensación y los pagadores, en base a circunstancias y responsabilidades (Ministry of the Environment, 1968).</p> <p>Nota: No aplica a los trabajadores.</p>
Zambia	No se encontraron equipos/instrumentos de este tipo en lo revisado.	No aplica.

□ Ejemplo de

Medidas de control aplicadas desde la entrada de la NE

Principales medidas de control aplicadas por fundición

Fundición	Medida de control aplicada
Chuquicamata	<p>Fusión: HF potenciado</p> <p>Conversión: Incorporación CPS N°5, reemplazo campanas primarias y secundarias</p> <p>Refinación: Planta de tratamiento de Humos</p> <p>Tratamiento de gases: Aumento capacidad de tratamiento, sistemas de tratamiento de gases del Secador N°6, HF y Hornos de Refino, PAS N°3 y N°4 a doble contacto</p>
Altonorte	<p>Preparación de concentrados: Modernización sistema de secado (Secado indirecto)</p> <p>Refinación: Reforming a gas natural</p> <p>Tratamiento de gases: Filtro de Mangas, renovación del catalizador de la PAS N°3</p>
Potrerrillos	<p>Refinación: Sistema de tratamiento de humos negros</p> <p>Tratamiento de gases: Mejoramiento integración captación procesamiento gases, PAS de simple a doble contacto.</p>
HVL	<p>Conversión: Alimentación carga fría a CPS</p> <p>Refinación: Sistema de tratamiento de Humos Negros RAF</p> <p>Tratamiento de gases: Planta de Tratamiento de Gases de Cola</p>
Ventanas	<p>Preparación de concentrados: Aumento captación MP Secador</p> <p>Fusión: Captación gases secundarios CT y sangrías</p> <p>Conversión: Sistema mecanizado carga fría CPS, captación gases secundarios CPS</p> <p>Limpieza de escoria: Aumento captación MP y gases secundarios HLE/HE y sangrías</p> <p>Refinación: Planta de tratamiento de humos visibles RAF</p> <p>Tratamiento de gases: Tratamiento de gases de cola, reemplazo intercambiador de calor y Torre k5, tratamiento de gases secundarios</p>
Chagres	<p>Preparación de concentrados: Modernización sistema de secado</p> <p>Refinación: planta de tratamiento de gases de horno de refino</p> <p>Tratamiento de gases: Mejora Tratamiento de gases HR y HLE</p>
Caletones	<p>Preparación de concentrados: Optimización PSFLUO</p> <p>Limpieza de escorias: Planta Limpieza de Escorias</p> <p>Refinación: Reducción opacidad humos Hornos Anódicos</p> <p>Tratamiento de gases: Sistema de reducción de emisiones plantas de ácido</p>

ESCENARIOS DE ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA EXISTENTE

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Tres Escenarios para la actualización de la norma existente

Alternativa 1:

Conservar la contribución de las fuentes puntuales a la calidad del aire actual, la cual, en términos generales, es bastante menor que los límites permitidos. Esto incluye también agregar un límite de emisión de Hg para las fuentes existentes. Además, se propone un límite de emisiones de MP para chimenea de campana secundaria (*secondary hood system*) de los convertidores de las fundiciones que tengan dichos dispositivos, en EEUU esto es vigente desde más de 40 años (US-EPA, 1986).

Alternativa 2:

Adecuar los límites de los procesos unitarios que se encuentran normados actualmente, a los niveles de la propuesta de US-EPA (2022). Se propone variar el control de las emisiones totales de As mediante dos límites diferenciados entre anuales y trianuales. Además, se propone regular el MP contenido en los hornos de refino en lugar de la opacidad (cambio comprendido en la propuesta de actualización de la norma en EEUU).

Alternativa 3:

Agregar límites de emisiones fugitivas según lo propuesto por la US-EPA (2022). Esta norma regula las emisiones de MP para controlar las emisiones de otros metales tóxicos. Se incluye la obligación de instalar sistemas de captura secundarios en los convertidores, en conjunto con un límite de MP para las emisiones de escape generados a nivel de sistema en coherencia con la norma de la US-EPA (2007). También se propone prohibir los convertidores por lotes (tipo batch), vigente en EEUU para todas las fundiciones construidas después de 1998 (US-EPA, 2002).

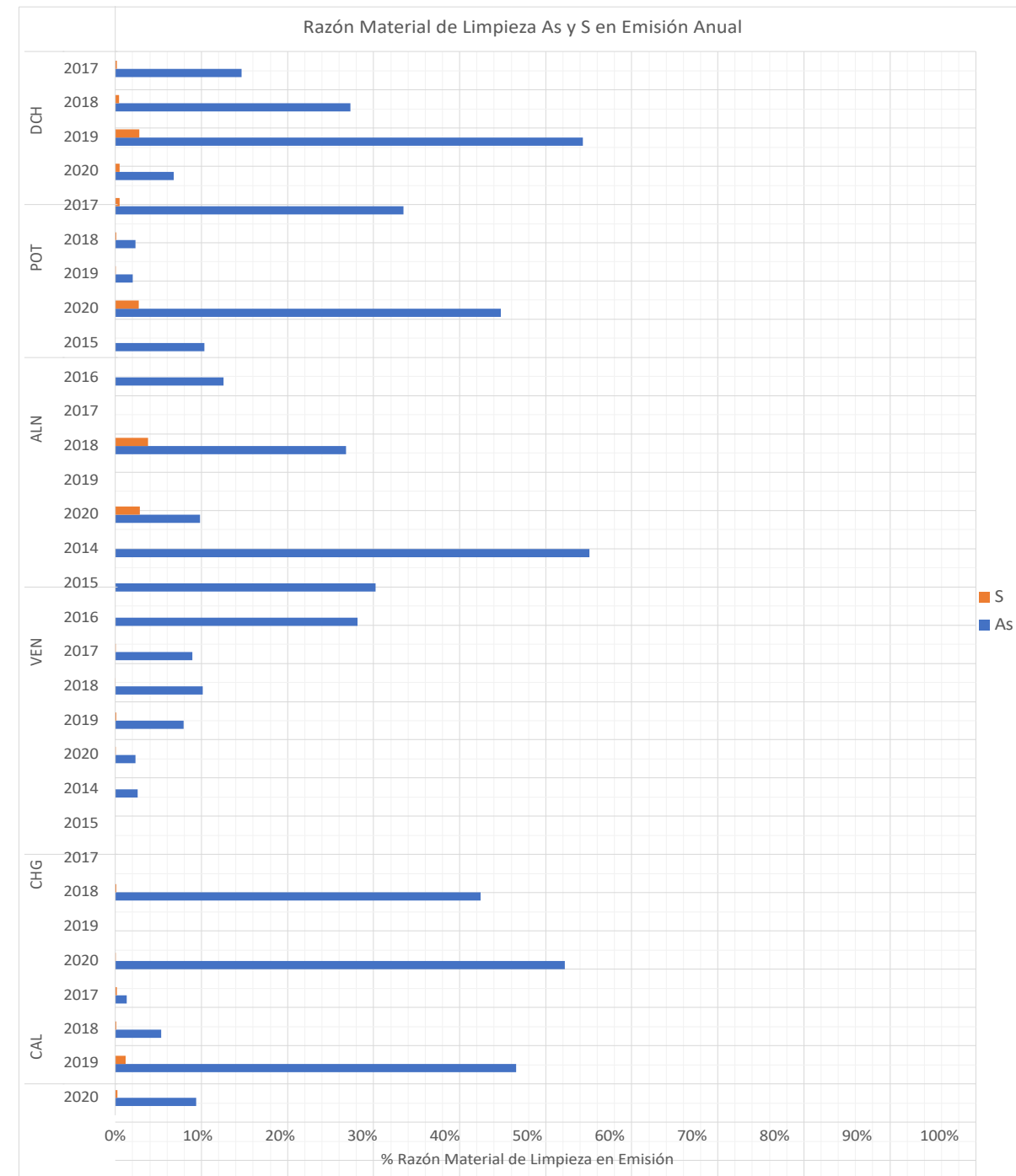
Escenarios de actualización de la norma existente

Punto de medición	Contaminante	Fuente	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Método	Frecuencia de verificación
Sistema de la fundición	As	Fundiciones existentes	Balance anual	Balance anual	Emisión Anual Balance Trianual	Emisión Anual Balance Trianual	CH-29	Anual
	SO ₂	Fundiciones existentes	Balance anual	Balance anual	Balance anual	Balance anual	CEMS	Anual
Secadores	MP	Fundiciones existentes	50 mg/Nm3	50 mg/Nm3	50 mg/Nm3	30 mg/Nm3	CH-5	Mensual
		Fuentes nuevas	30 mg/Nm3	30 mg/Nm3	30 mg/Nm3	30 mg/Nm3	CH-5	Mensual
Planta de ácidos	SO ₂	Fundiciones existentes	600 ppm	600 ppm	600 ppm (1)	600 ppm (1)	CEMS	Mensual
		Otras fuentes industriales existentes	400 ppm	400 ppm	400 ppm (1)	400 ppm (1)	CEMS	Mensual
		Fuentes nuevas	200 ppm	200 ppm	200 ppm (1)	200 ppm (1)	CEMS	Mensual
		Fundiciones existentes	1 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	CH-29	Mensual
	As	Otras fuentes industriales existentes	1 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	CH-29	Mensual
		Fuentes nuevas	1 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	CH-29	Mensual
	Hg	Fundiciones existentes	n.a.	0,1 mg/Nm3	0,05 mg/Nm3	0,05 mg/Nm3	CH-29	Mensual
		Otras fuentes industriales existentes	n.a.	0,1 mg/Nm3	0,1 mg/Nm3	0,1 mg/Nm3	CH-29	Mensual
Hornos de limpieza de escoria	As	Fuentes nuevas	0,1 mg/Nm3	0,1 mg/Nm3	0,05 mg/Nm3	0,05 mg/Nm3	CH-29	Mensual
		Fundiciones existentes	1 mg/Nm3	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	CH-29	Mensual
	MP	Fuentes nuevas	1 mg/Nm3	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	CH-29	Mensual
		Fundiciones existentes	50 mg/Nm3	50 mg/Nm3 (3)	50 mg/Nm3 (3)	50 mg/Nm3 (3)	CH-5	Mensual
Hornos de refinó	MP	Fuentes nuevas	30 mg/Nm3	30 mg/Nm3 (4)	30 mg/Nm3 (4)	30 mg/Nm3 (4)	CH-5	Mensual
		Todas	20%Ringelman	20%Ringelman	n.a.	n.a.		Mensual
Techo Reactor	MP	Todas	n.a.	n.a.	5,8 mg/Nm3	5,8 mg/Nm3	CH-5	Mensual
Techo CPS	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	1,95 kg/hr	CH-5	Anual
Techo Hornos de refinó	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	0,77 kg/hr	CH-5	Anual
Reactor de fusión	MP10	Fuentes nuevas	n.a.	n.a.	n.a.	0,73 kg/hr	CH-5	Anual
Chimenea de campana secundaria de Convertidores	MP	Fundiciones existentes	n.a.	11,6 mg/Nm3	11,6 mg/Nm3 (6)	11,6 mg/Nm3 (6)	CEMS	Anual
		Fuentes nuevas	n.a.	11,6 mg/Nm3	11,6 mg/Nm3 (6)	11,6 mg/Nm3 (6)	CH-5	Mensual
Sistema de la fundición/fuente	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	300 g/ton (7)	CEMS	Diario

Límite anual de Arsénico

Material de limpieza

- Límite actual de As considera el descuento de As contenido en material de limpieza.
- Los cronogramas de mantención y limpieza varían entre fundiciones.
 - Entre 2017 y 2020, Caletones y Chuquicamata reportaron As en material de limpieza en 10 meses.
 - Los que menos reportaron fueron CHG (3), ALN (2) y HVL (0)
- En algunos casos mantenciones mayores se llevan entre 18 y 30 meses
 - El resultado del balance anual no coincide con emisiones reales
- En promedio un 20% del Arsénico “emitido” es reportado en el material de limpieza
 - Para algunas fundiciones y años, esto puede superar el 50%

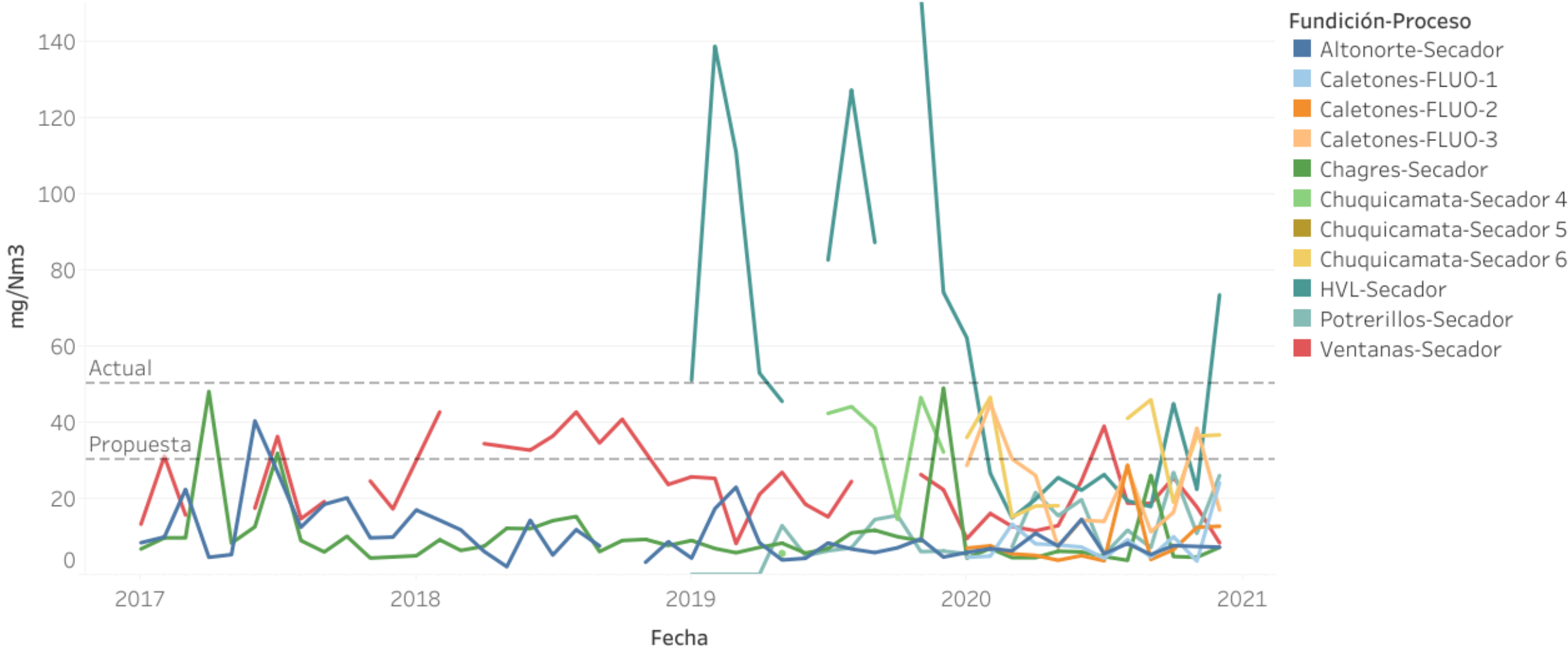


Propuesta de límite emisión anual y balance tri-anual

- Considerar periodos más largos reduce la diferencia entre el resultado del balance y las emisiones reales.
- Para evitar que esta diferencia puede camuflar emisiones reales más altas, se propone distinguir dos límites
 - Un límite de emisión anual equivalente a la suma de los resultados mensuales (sin considerar material de limpieza)
 - Un límite del balance trianual, que considere el descuento por material de limpieza

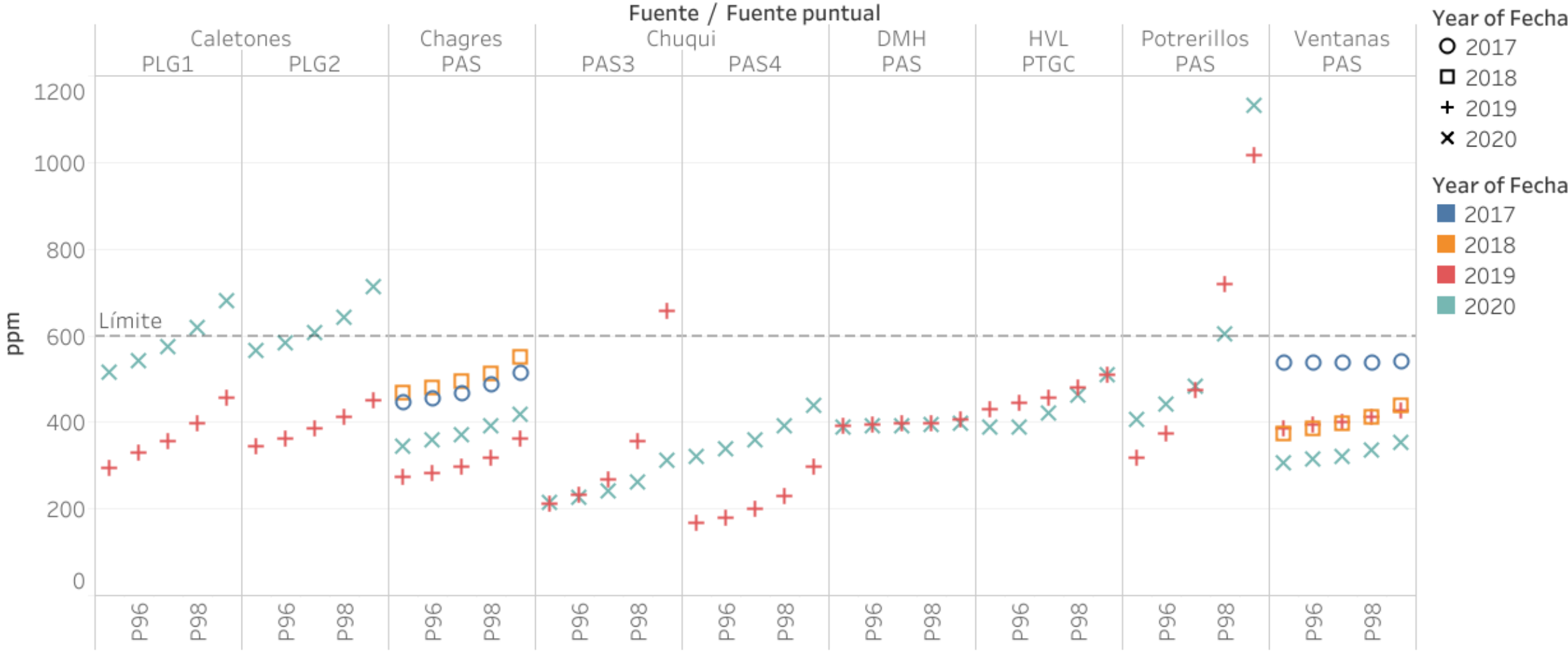
Fuente emisora	Balance SO2 [t/año]	Emisión As anual [t/año]	Balance As trianual [t/3 años]	Balance promedio [t/año]	Limite balance actual [t/año]
Altonorte	24.000	139	340	113	123
Caletones	47.680	143	351	117	130
Chagres	14.400	39	95	32	35
Chuquicamata	49.700	524	1.285	428	476
Hernán Videla Lira	12.880	19	45	15	17
Potrerrillos	24.400	172	424	141	157
Ventanas	14.650	53	130	43	48

Límite MP secadores



□ Límite propuesto sólo para Alternativa 3

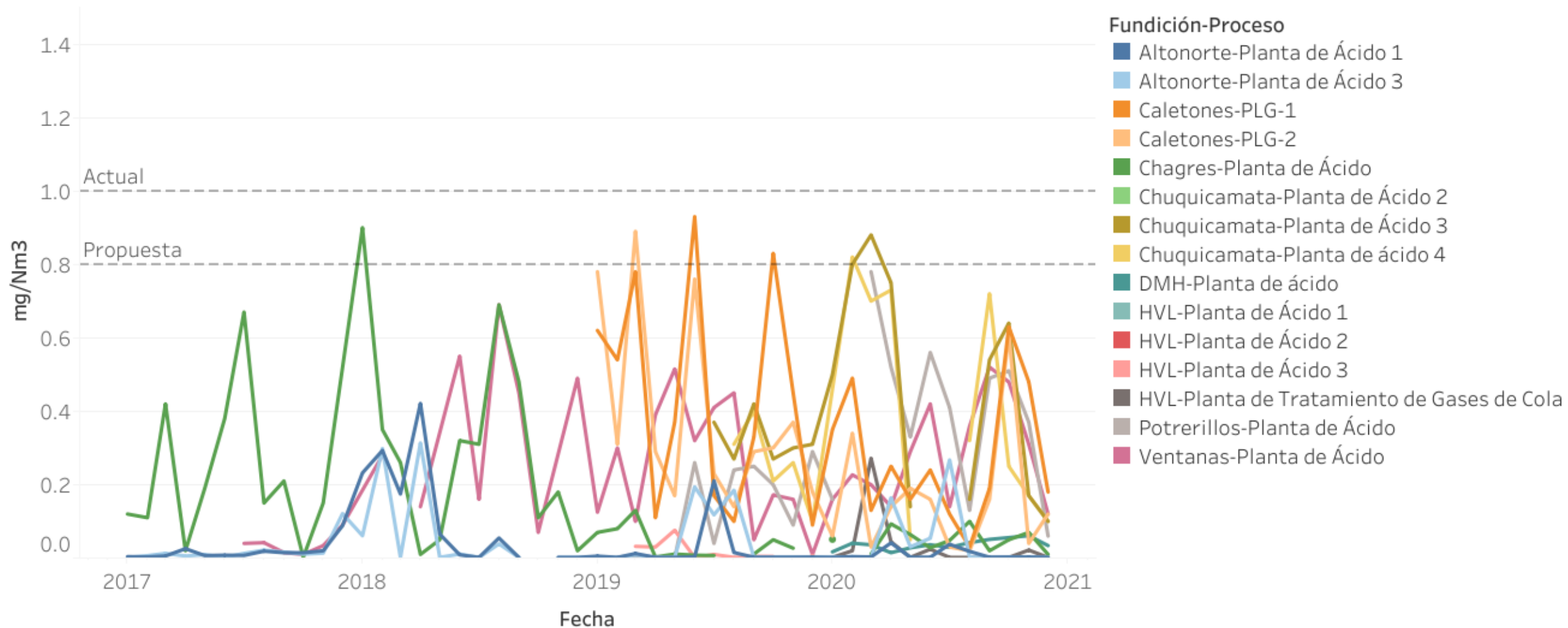
Límite SO2 Plantas de ácido



Límite de 600 es para todas las fuentes menos DMH que tiene un límite de 400 ppm

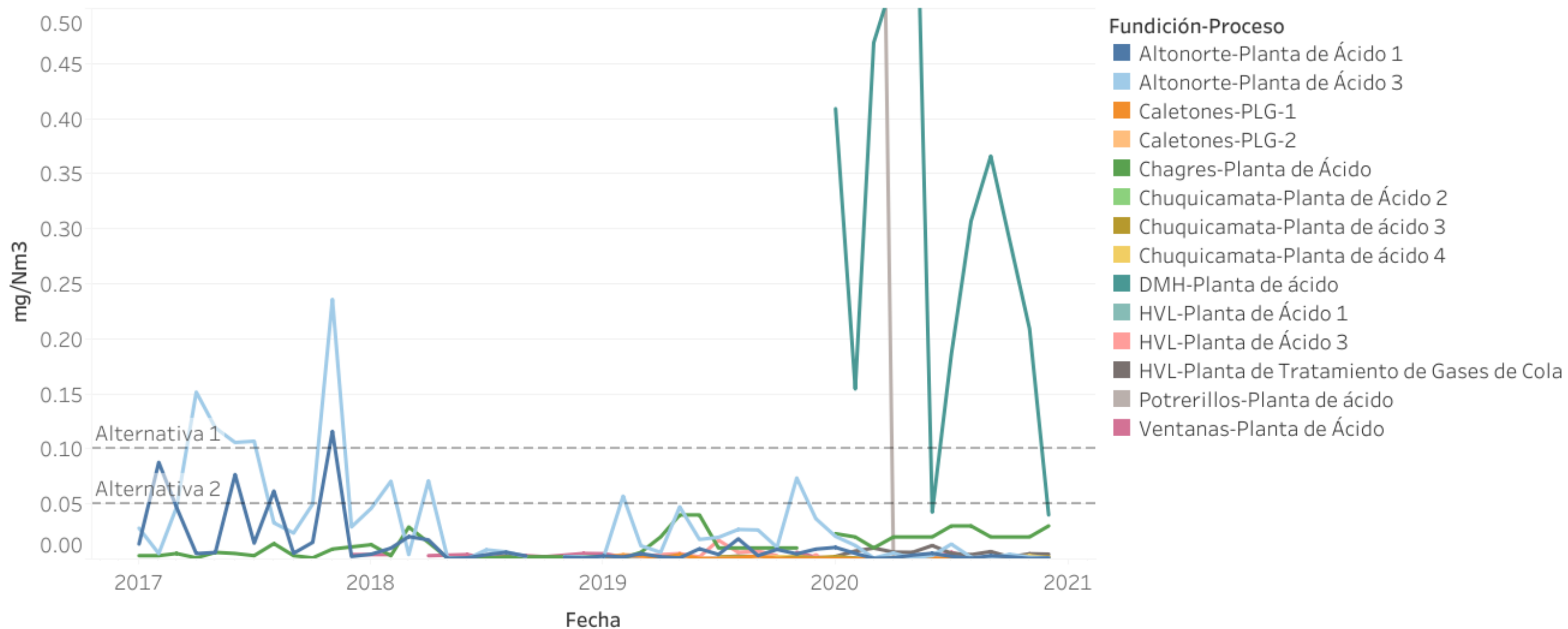
- Límite propuesto desde Alternativa 2. Pasar de percentil 95 a percentil 99

Límite As Plantas de ácido



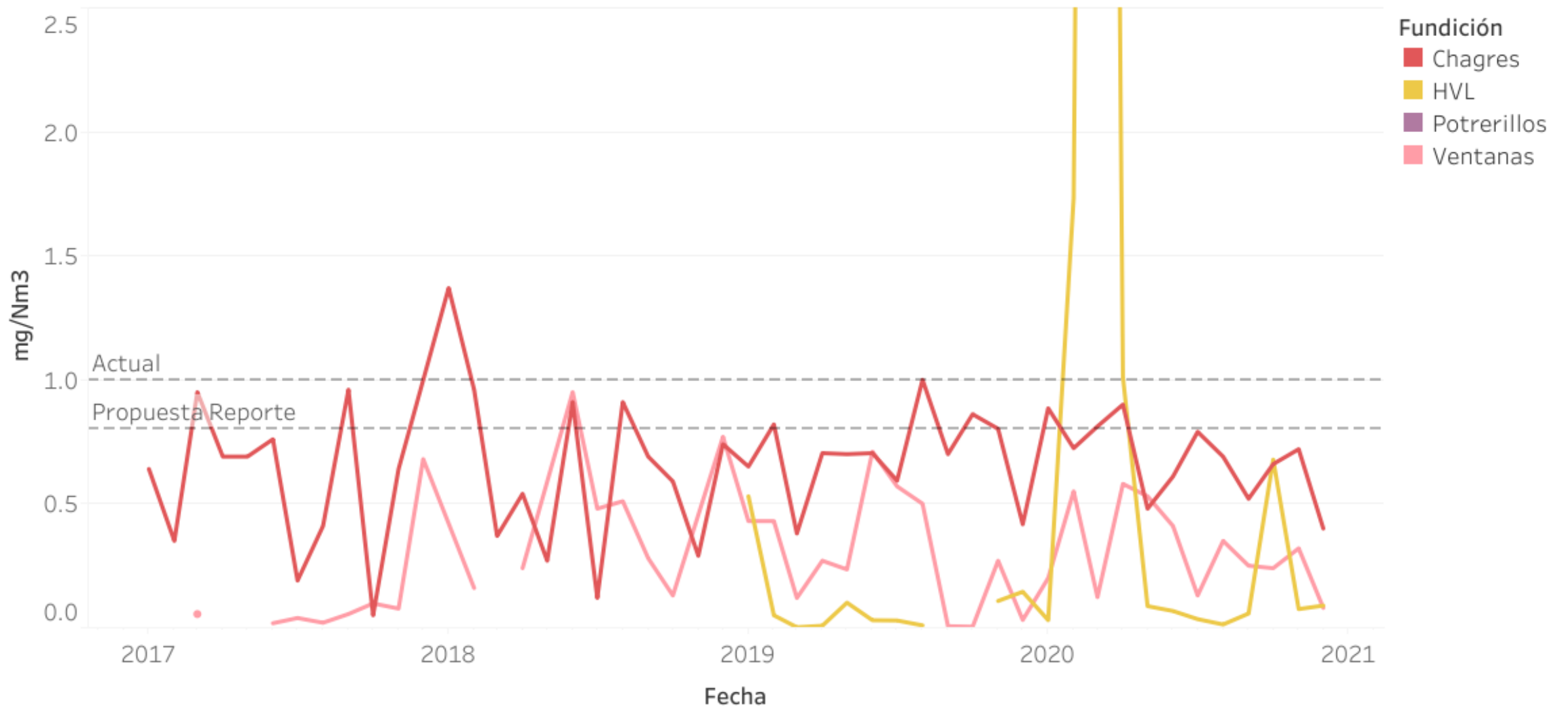
□ Límite propuesto desde Alternativa 1

Límite Hg Plantas de ácido



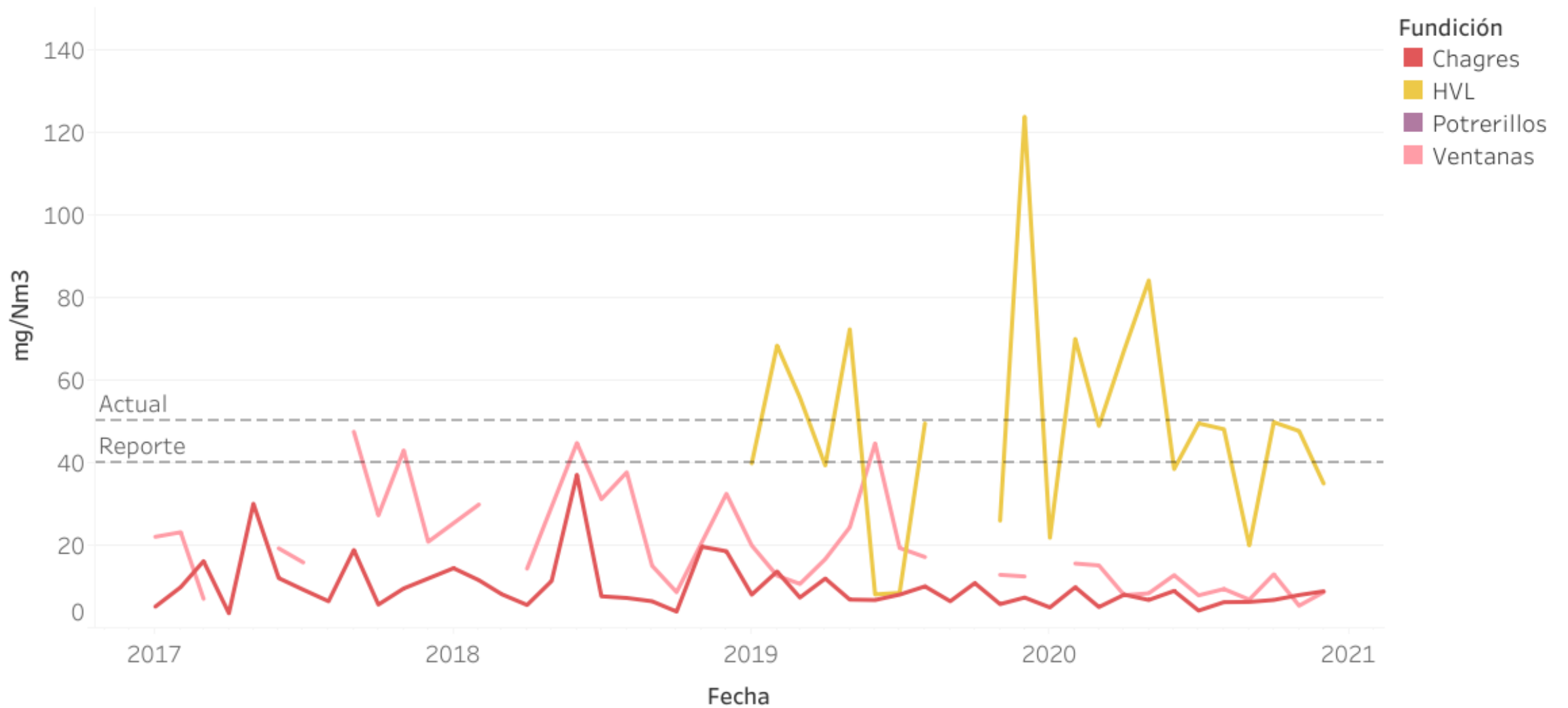
□ Límite propuesto desde Alternativa 1. Para Alternativa 2 y 3, propuesta es más ambiciosa, sólo para fundiciones (no para otras fuentes)

Propuesta reporte por As en HELE/HE



Propuesta de reporte desde alternativa 1

Propuesta reporte por MP en HELE/HE



□ Propuesta de reporte desde alternativa 1

Propuesta limite MP en hornos de refino



Ventanas tiene datos semestrales y Chagres mensuales.

- Propuesta de reporte desde alternativa 2

Relación entre la NPCA para As y la NE requerida para cumplirla

Fundición	Escenario de Norma de Calidad		
	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
DCH	Actual	Alternativa 3	Alternativa 3 + reducción
ALN	Actual	Actual	Actual
POT	Actual	Actual	Actual
HVL	Alternativa 1	Alternativa 2 + Planta de Flotación	Alternativa 3 + Planta de Flotación
VEN	Alternativa 3	Alternativa 3 + Planta de Flotación	Alternativa 3 + Planta de Flotación
CHG	Actual	Actual	Alternativa 1
CAL	Actual	Actual	Actual

Para cumplir con la NPCA se requieren límites de emisión asimilables a cada alternativa de NE.

Relacion entre la NPCA para As y la NE requerida para cumplirla

NPCA	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
DCH	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)
ALN	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
POT	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
HVL	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (46,6) (con Planta de Flotación)	Esc. Cont. Lim. (15,0) (con Planta de Flotación)
VEN	--	--	Esc 2 en 10k (46,6)
CHG	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
CAL	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)	Esc. Cont. Lim. (15,0)

Para cumplir con la NPCA se requieren limites de emisión asimilables a cada alternativa de NE.

ESTIMACIÓN DE POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA LAS ACTUALES FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Emisiones en Chile – Emisiones por balance de masa

Estimación de emisiones [kg/año] por balance de masa y por monitoreo continuo o mediciones discretas, año 2020

Fuente	Totales (Balance de masa)		Chimeneas con mediciones	
	As	SO2	As (2)	SO2 (3)
Fundición Chuquicamata	180.781	9.090.334	605	578.822
Fundición Altonorte	117.721	12.827.234	91	1.384.567
Fundición Potrerillos	51.037	3.516.746	546	805.518
Fundición HVL	(1) 18.652	7.999.918	108	374.182
Fundición Ventanas	28.439	10.421.635	318	285.695
Fundición Chagres	8.640	9.014.437	424	671.701
Fundición Caletones	67.041	28.625.910	765	1.941.468
Planta Tostación MH (4)	-	-	23	238.884
Total	472.312	81.496.216	3.148	6.280.836

(1) Reestimación basada en intensidad de emisiones considerando los balances de masa del titular en el periodo oct2020 a sep2021. Las emisiones reportadas hasta agosto 2020 fueron estimadas con una metodología que no se ajusta a los datos operacionales, la cual contaba originalmente con dos meses con valores negativos.

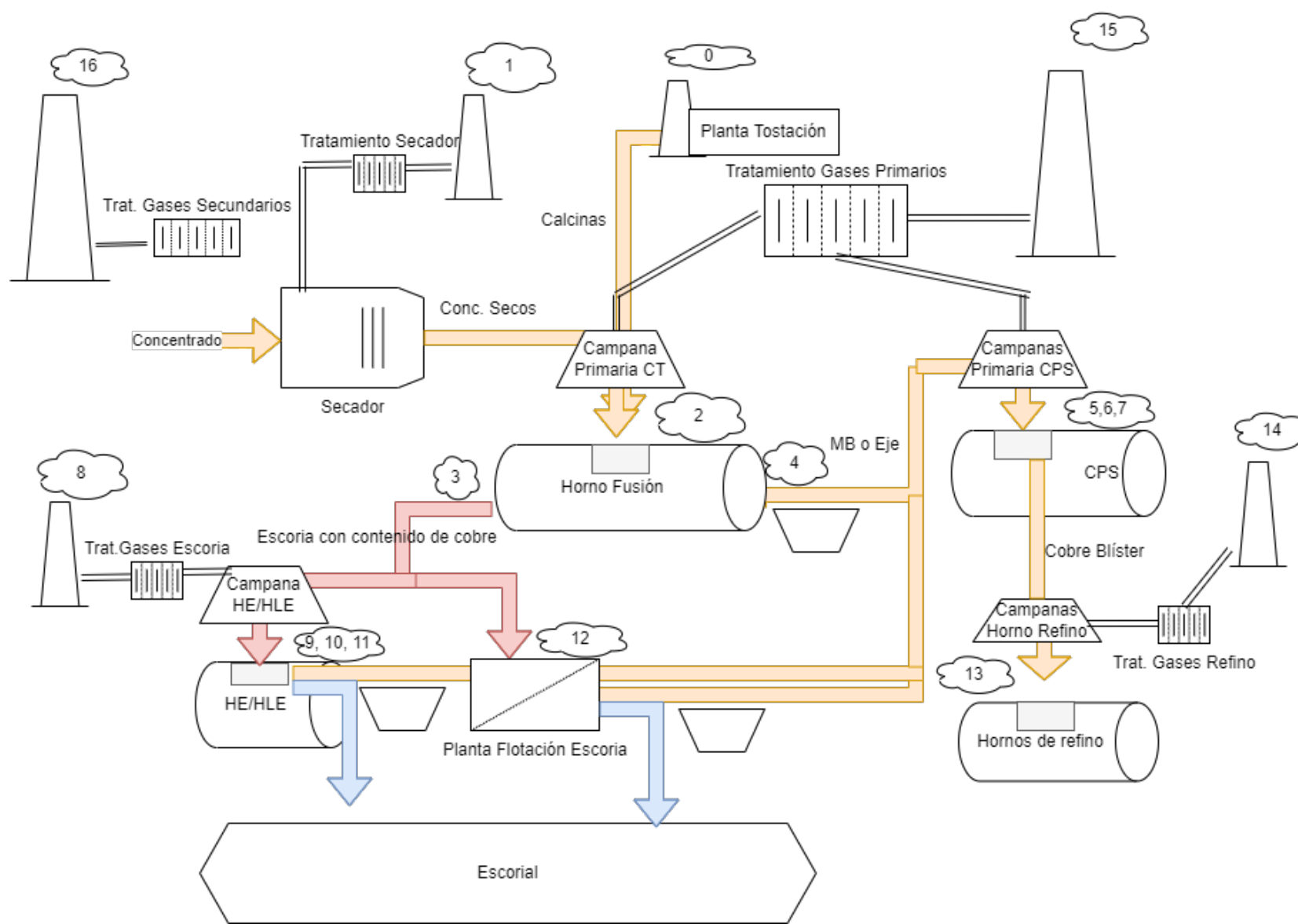
(2) As reportado para plantas de ácido y hornos de escoria

(3) SO2 reportado para plantas de ácido

(4) Planta de Tostación Ministro Hales no cuenta ni con secadores ni horno de escorias y luego solo reporta emisiones asociadas a planta de tostación.

- Las emisiones puntuales son una fracción pequeña de las emisiones totales :
 - 0,7% de las emisiones totales de As.
 - 7,7% de las emisiones totales de SO2 vienen de chimeneas.

Fuentes unitarias



Etapa	Id	Fuente emisora y/o actividad
Preparación de concentrados	0	Tostador
	1	Secador
	2	Fugitivo Boca Reactor
Fusión	3	Sangría/transporte Escoria Reactor
	4	Sangría/transporte MB o eje
Convertidores	5	Fugitivo Boca CPS
	6	Vaciado/transporte Blíster
	7	Vaciado/transporte Escoria CPS
Limpieza de escorias	8	Chimenea HLE/HE
	9	Fugitivo Boca HLE/HE
	10	Sangría/Transporte MB HLE/HE
	11	Sangría/Transporte Escoria HLE/HE
	12	Transporte/enfriado/chancado Escoria
Refinación	13	Chimenea de planta de tratamiento de gases de hornos de refino y /o basculante
	14	Fugitivo Horno Anódico
Tratamiento de gases	15	Gases de Cola Planta de ácido
	16	Tratamiento de gases secundarios

Distribución de emisiones por proceso unitario

Estimación de emisiones de SO₂ [ton/año] por fuente unitaria, año 2020

Etapa	Fuente unitaria	DCH	ALN	POT	HVL	DVE	CHG	CAL	DMH	Total
Preparación de concentrados	Planta Tostación	-	-	-	-	-	-	-	239	239
	Secador	331	527	253	166	180	256	629	-	2.343
Fusión	Fugitivo Boca Reactor	-	2.784	541	2.570	4.253		10.629	-	20.776
	Sangría/transporte Escoria Reactor	479	974	189	450	496	344	1.488	-	4.421
	Sangría/transporte MB o eje	503	1.698	330	784	865	452	2.593	-	7.225
CPS	Fugitivo Boca CPS	5.547	3.875	1.129	2.615	2.885	5.122	8.877	-	30.050
	Vaciado/transporte Blíster	690	724	141	385	425	753	1.105	-	4.223
	Vaciado/transporte Escoria CPS	582	585	114	161	354	624	893	-	3.312
Limpieza de escorias	Chimenea HLE/HE	-	-		166	180	256	-	-	602
	Fugitivo Boca HLE/HE	-	-		3	4	2	-	-	9
	Sangría/Transporte Escoria HLE/HE	-	-		39	59	65	-	-	162
	Sangría/Transporte MB HLE/HE	-	-		141	217	194	-	-	552
	Transporte/enfriado/c hancado Escoria	30	28	5	-	-	-	43	-	106
Refinación	Horno Anódico	359	278	54	141	217	280	425	-	1.754
Tratamiento de gases	Gas de Cola Planta de ácido	579	1.385	806	374	286	672	1.941	-	6.042
Total		9.099	12.857	3.562	7.994	10.420	9.021	28.624	239	81.816

- Las principales fuentes son las emisiones fugitivas de la boca del reactor (25,4% de las emisiones totales) y las emisiones fugitivas de la boca del CPS (36,7% de las emisiones totales).

Distribución de emisiones por proceso unitario

Estimación de emisiones de As [ton/año] por fuente unitaria, año 2020

Etapa	Fuente unitaria	DCH	ALN	POT	HVL	DVE	CHG	CAL	DMH	Total
Preparación de concentrados	Planta de tostación	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
	Fugitivo Boca Reactor	-	19,4	18,9	4,3	5,4	-	39,8	-	89,8
Fusión	Sangría/transporte Escoria Reactor	45,9	20,6	6,3	0,7	0,6	1,2	5,3	-	67,1
	Sangría/transporte MB o eje	10,5	35,0	10,7	1,2	1,0	0,4	9,0	-	71,6
CPS	Fugitivo Boca CPS	6,1	1,3	1,9	0,3	0,2	0,3	1,6	-	14,9
	Vaciado/transporte Blíster	0,8	0,7	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	-	2,1
	Vaciado/transporte Escoria CPS	0,4	0,7	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	-	1,6
Limpieza de escorias	Chimenea HLE/HE	-	-	-	0,1	0,1	0,4	-	-	0,5
	Fugitivo Boca HLE/HE	-	-	-	7,8	10,7	3,2	-	-	21,6
	Sangría/Transporte Escoria HLE/HE	-	-	-	2,7	6,6	1,1	-	-	10,4
	Sangría/Transporte MB HLE/HE	-	-	-	0,2	0,3	0,1	-	-	0,5
	Transporte/enfriado/chancado Escoria	1,8	2,1	0,6	-	-	-	0,5	-	5,3
Refinación	Fugitivo Horno Anódico	111,0	37,8	11,6	1,4	3,4	1,8	9,7	-	180,7
Tratamiento de gases	Gas de Cola Planta de ácido	0,6	0,1	0,6	0,0	0,2	0,1	0,8	-	2,3
Total		177,1	117,6	50,9	18,6	28,5	8,6	67,1	0,0	468,4

- Las principales fuentes son las emisiones fugitivas de la boca del reactor (24,7% de las emisiones totales) y las emisiones del horno anódico (43,1% de las emisiones totales).

Identificación de las medidas de control adicionales

- Identificación de alternativas de acción para la reducción de emisiones, para cada etapa del proceso:
 1. Medidas **operacionales de manejo** de materia prima y maquinaria.
 2. Medidas **tecnológicas de recambio de tecnología** a tecnología más limpia.
 3. Medidas **tecnológicas de equipos adicionales** para abatimiento de ciertos contaminantes.
- Identificación de **factores determinantes** en las emisiones de cada proceso.
- Identificación de **tecnologías o modificaciones implementadas por cada fundición** para el cumplimiento del D.S. 28 MMA/2013.

Procesos unitarios afectados por cada medida de mitigación identificada y supuestos de eficiencia de captura considerados

Medida de mitigación	Eficiencia mitigación As	Eficiencia mitigación SO ₂	Proceso unitarios afectos
Planta tostación	10,6%	1,6%	Todos menos secador
Captura secundaria en boca del reactor	$CP+(1-CP)\times 28\%$	$CP+(1-CP)\times 66,5\%$	Fugitivos boca reactor
Captura y fijación sangrado del reactor	28%	66,5%	Sangría MB o eje/ sangría Escoria reactor
Captura en techo del reactor	80%	0%	Fugitivos boca reactor y Sangría MB o eje/ sangría Escoria reactor
Captura en techo del reactor y filtro de manga	90%	0%	Fugitivos boca reactor y Sangría MB o eje/ sangría Escoria reactor
Campana y tratamiento de gases secundarios CPS	$CP+(1-CP)\times 28\%$	$CP+(1-CP)\times 66,5\%$	Fugitivos boca CPS
Captura terciaria en CPS	$CP+(1-CP)\times 36\%$	$CP+(1-CP)\times 85,5\%$	Fugitivos boca CPS
Sistema alimentación carga fría CPS	10% de las fugitivas	10% de las fugitivas	Fugitivos boca CPS
ESP húmedo en hornos anódicos	47,5%	0%	Hornos Refinación
Captura y tratamiento en hornos de escorias	47,%	20%	HLE/HE
Flotación de escorias	95%	90%	HLE/HE
PTGC	0%	45%	Chimenea Planta ácido

Notas:

- Modelada para cada fundición

Potencial de reducción

Potencial de reducción SO₂ [kg/año] según medida y fundición, proyectado para año 2035

Medida de mitigación	DCH	ALN	POT	HVL	DVE	CHG	CAL	Total
Planta tostación		203.942	65.247	140.946	169.334	160.456	463.009	1.202.935
Captura secundaria en boca del reactor		805.756	190.989	792.286			3.076.344	4.865.375
Captura y tratamiento sangrado reactor	287.110	773.526	183.350	380.297		255.134	1.181.316	3.060.733
Captura y tratamiento gases secundarios CPS			398.785	806.151		1.641.134	2.569.362	5.415.432
Captura terciaria en CPS (1)	959.767	1.442.073	512.724	1.036.479	331.271	2.110.029	3.303.466	9.695.810
Alimentación carga fría CPS		400.576	142.423			586.119	917.629	2.046.748
Captura y tratamiento hornos escoria				40.180		59.597		99.777
Flotación de escorias				180.811	260.052	268.187		709.049
Planta de tratamiento de gases de cola							903.099	903.099

□ Nota: Las celdas en blanco significan que las medidas no son aplicables a la fundición correspondiente o que ya tienen una medida aplicada con mayor eficiencia.

Potencial de reducción

Potencial de reducción As [kg/año] según medida y fundición, proyectado para año 2035

Medida de mitigación	DCH	ALN	POT	HVL	DVE	CHG	CAL	Total
Planta tostación		12.882	6.654	2.219	3.119	1.047	7.352	33.273
Captura secundaria en boca del reactor			16.002	3.293	347		28.217	47.860
Captura y tratamiento sangrado reactor	54.705	38.202	13.961	1.437		1.228	9.847	119.381
Captura techo en reactor (1)	70.187	61.992	35.457	5.569	5.763	1.477	44.752	225.197
Captura techo y filtro de manga reactor (1)	78.961	69.741	39.889	6.265	6.483	1.662	50.346	253.347
Captura y tratamiento gases secundarios CPS			1.600	201		266	1.129	3.196
Captura terciaria en CPS (2)	6.323	719	1.994	251	128	332	1.407	11.154
Alimentación carga fría CPS			233			39	165	437
Captura y tratamiento hornos escoria				5.663		-		5.663
ESP húmedo en horno anódico	82.126			72				82.198
Flotación de escorias				11.325	16.780	4.551		32.656

(1) Potencial incluye la instalación de captura secundario en boca del reactor y captura y tratamiento del sangrado del reactor.

(2) Potencial incluye la captura y tratamiento de gases secundarios en CPS.

Nota: Las celdas en blanco significan que las medidas no son aplicables a la fundición correspondiente o que ya tienen una medida aplicada con mayor eficiencia.

EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS

La investigación al servicio de una política pública sustentable

90



Evaluación de los beneficios de los escenarios regulatorios propuestos

Concentraciones [ng/m³N] de arsénico en MP10 proyectadas en el año de referencia para escenarios normativos

Localidades	Proyección			
	Base	Esc 2 en 10k	Esc 1 en 10k	Esc Cont lim
Valor límite	n/a	46,6	23,3	15,0
Calama*	40,7	40,7 (-)	23,3 (-17,4)	15,0 (-25,7)
ChiuChiu*	5,9	5,9 (-)	4,7 (-1,2)	4,1 (-1,8)
La Negra	42,9	42,9 (-)	42,9 (-)	42,9 (-)
Antofagasta*	8,0	8,0 (-)	8,0 (-)	8,0 (-)
El Salvador	5,9	5,9 (-)	5,9 (-)	5,9 (-)
Potrillo	36,1	36,1 (-)	36,1 (-)	36,1 (-)
Copiapó*	60,8	46,6 (-14,2)	23,3 (-37,5)	15,0 (-45,8)
Tierra Amarilla*	38,4	30,0 (-8,4)	16,1 (-22,2)	11,2 (-27,2)
Quintero*	52,4	46,6 (-5,8)	23,3 (-29,1)	15,0 (-37,4)
Puchuncaví*	13,6	12,5 (-1,1)	8,2 (-5,4)	6,6 (-6,9)
Ventanas*	14,6	13,1 (-1,5)	7,2 (-7,4)	5,1 (-9,5)
Catemu*	15,0	15,0 (-)	15,0 (-)	15,0 (0,0)
Panquehue**	5,8	5,8 (-)	5,8 (-)	5,8 (0,0)
Llayllay**	3,2	3,2 (-)	3,2 (-)	3,2 (0,0)
Coya*	6,6	6,6 (-)	6,6 (-)	6,6 (-)

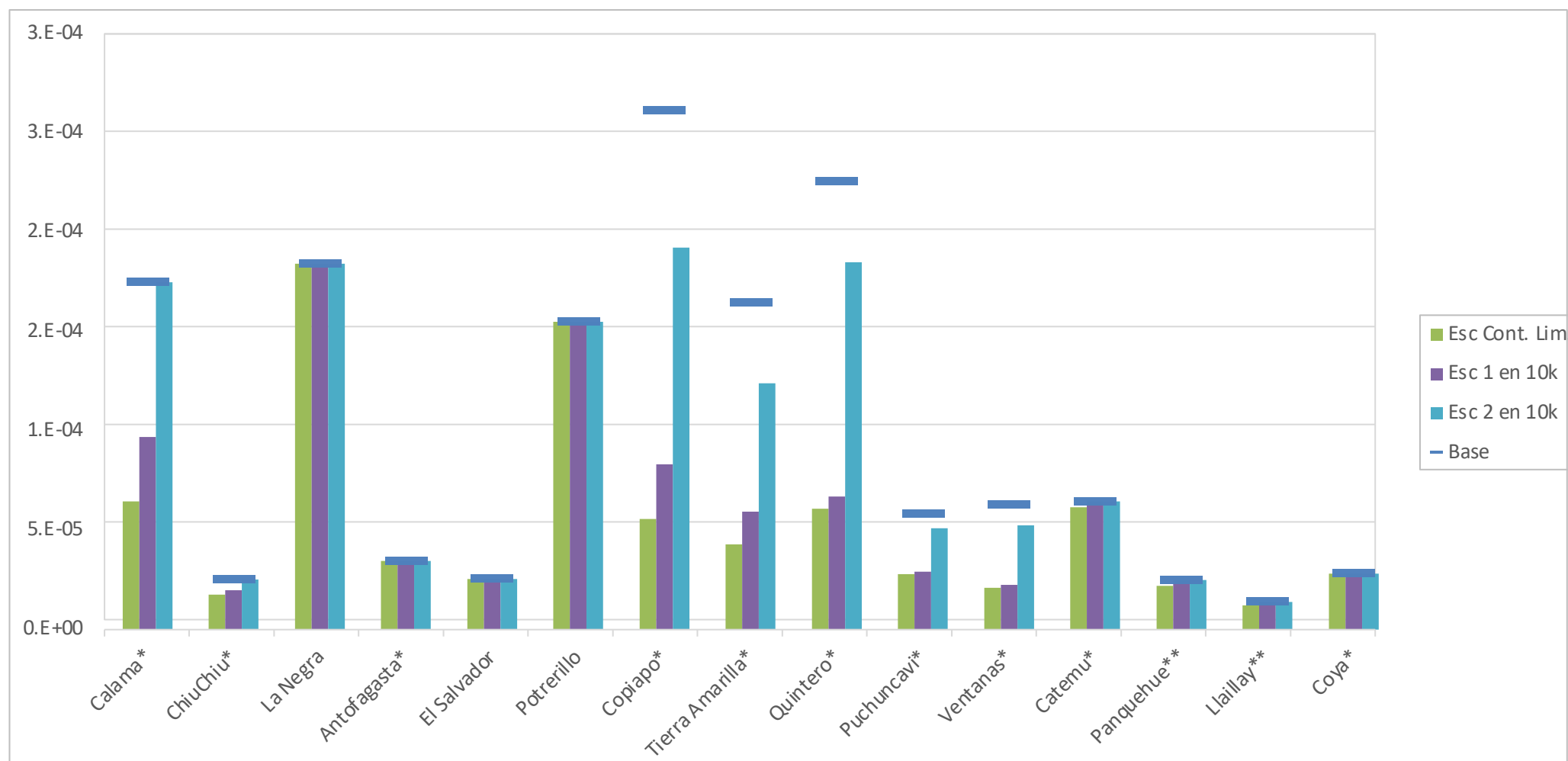
Notas:

- Base = Concentración total sin norma, proyección al 2035.
- En paréntesis se muestra la reducción alcanzada respecto del escenario base.

* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

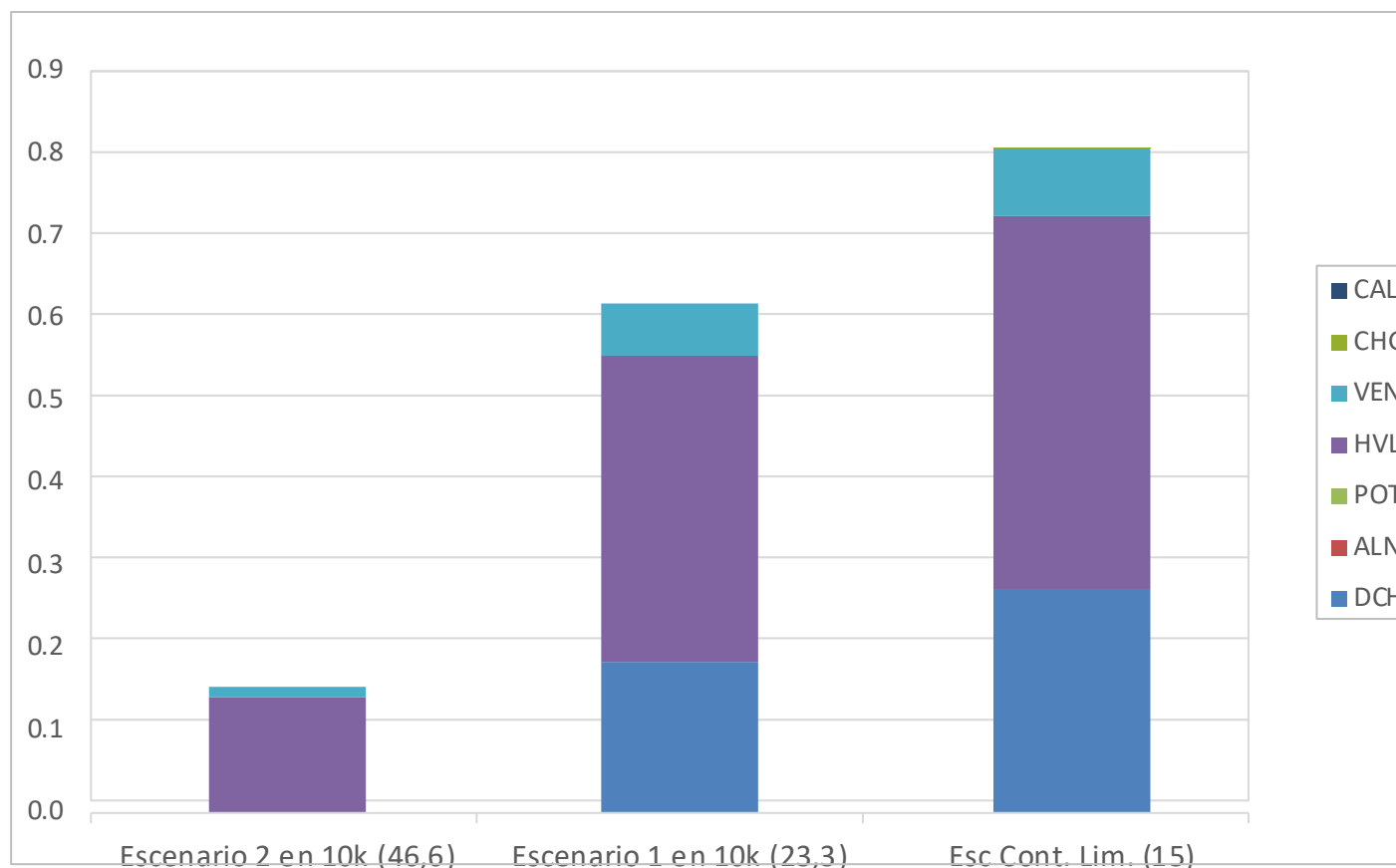
** Localidad no cuenta con mediciones de As, resultados provienen solo de la modelación de dispersión.

Variación de riesgo incremental según escenario regulatorio



- IUR: US-EPA
- Año referencial: 2035
- * Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10
- ** Localidad no cuenta con mediciones de As, resultados provienen sólo de la modelación de dispersión

Beneficios por reducción en número de casos de cancer esperados



Distribución de la reducción del riesgo poblacional por escenario para año referencial, en casos esperados

- IUR: US-EPA; Sensibilización con IUR OMS es 2,87 veces menor.
- Población: en base a proyección INE 2035
- Año referencial: 2035

Localidad	Esc. 2 en 10k (46,6)	Esc. 1 en 10k(23,3)	Esc Cont. Lim. (15)
Calama*	-	3.087	4.563
ChiuChiu*	-	0	1
La Negra	-	-	-
Antofagasta*	-	-	-
El Salvador	-	-	-
Potrerillo	-	-	-
Copiapó*	2.283	6.034	7.371
Tierra Amarilla*	83	218	267
Quintero*	192	959	1.232
Puchuncaví*	7	35	45
Ventanas*	15	75	96
Catemu*	-	-	0
Panquehue**	-	-	0
Llayllay**	-	-	0
Coya*	-	-	-
Total	2.580	10.408	13.573

Valorización de los beneficios anuales [UF/año] asociados a los escenarios de NPCA para el año de referencia

* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

Metodología estimación costos de inversión, operación y mantenimiento de tecnologías de reducción de emisiones

- Considerando las **emisiones puntuales y fugitivas** asociadas a cada **proceso unitario** identificado:
 - Siguiendo lineamientos de la US-EPA, **se compararon las 7 fundiciones entre sí** (factibilidad, costos).
 - Se revisó la **literatura nacional e internacional**. Se revisaron los documentos asociados a la **nueva propuesta NE para fundiciones de cobre** en desarrollo por la US-EPA (2022a). Se destaca un caso de estudio en que se evaluó qué tecnologías tendrían que ser aplicadas en las fundiciones existentes si las normas tuvieran un alto nivel de exigencia.
 - A partir de la identificación de medidas de abatimiento factibles **se compilaron sus costos y eficiencias de captura**, así como consideraciones relevantes para su evaluación y aplicación.

- Estimación costo unitario de inversión
 - Se **privilegian antecedentes nacionales**, complementados por entrevistas a las fundiciones.
 - Se consideraron diversos factores, seleccionando uno o dos factores con información disponible para todas las fundiciones, que mejor podría representar el proceso de escalamiento de las tecnologías.
 - Se consideraron **hasta dos componentes de los costos**, de esta forma su suma da el costo de inversión total.

- Estimación costos unitario de operación y mantención
 - Se **privilegian antecedentes nacionales**, complementados por entrevistas a las fundiciones.

Metodología estimación costos de detención por implementación, y por reducción del nivel de producción

□ Costos de detención por implementación

Costo por **tiempos de implementación de las medidas de abatimiento y posterior puesta en marcha** (incluye periodos de adaptación de producción menor intensidad).

- Se realizan los siguientes supuestos sobre los tiempos de detención:
 - 5 meses para medidas en la misma línea de producción (ej. reactores)
 - 3 meses para medidas de captura de techo o sistemas anexos (ej. captura de techo en horno de escoria)
 - 1 mes para medidas de instalaciones anexas (ej. planta de tostación)
- Para estimar el costo se considerar el **valor agregado de la fundición** (143,2 UF/ton).

□ Costos por reducción del nivel de producción

Si las medidas adicionales a implementar tienen un **costo total muy alto** —mayor a los ingresos de la venta de cobre—, es lógico que la **fundición decida limitar su producción** hasta el límite que permite que se cumpla la NPCA.

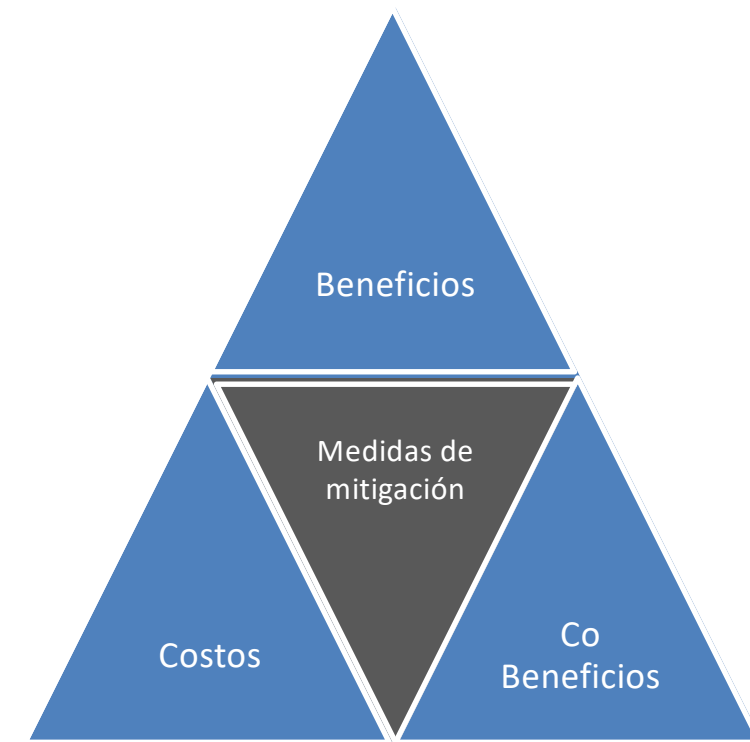
- Se estima la **emisión de arsénico proyectada** para cada fundición, según su producción proyectada
- Se estima un **costo unitario de no producción**, utilizando el mismo valor agregado de la fundición.

Fundición	Costo [UF/ As]
Chuquicamata	183.553
Altonorte	352.200
Potrerosillos	353.785
HVL	716.172
Ventanas	823.247
Chagres	1.801.819
Caletones	686.377

Costos y beneficios:

Selección de paquete de medidas para escenarios de NPCA

- Se seleccionan paquetes de medidas de forma tal que, se **minimicen los costos totales**, sujetos a que cumplan con los límites de concentración de cada escenario de NPCA
- Es un problema no lineal, por lo que, puede suceder que se opte por medidas con costos medios más altos, pero que logren costos totales menores.
- Como medida también se considera la opción de reducir la producción para dar cumplimiento a la NPCA.



Costos y beneficios: Paquete de medidas para escenarios de NPCA

Fundición	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
Chuquicamata	Reactor: -	Reactor: Captura y tratamiento sangrado reactor Captura en techo de reactor	Reactor: Captura y tratamiento sangrado reactor Captura en techo de reactor y filtro de manga
	CPS: -	CPS: Captura Terciaria en CPS	CPS: Captura Terciaria en CPS
	Horno Anódico: -	Horno Anódico: ESP húmedo en horno anódico	Horno Anódico: ESP húmedo en horno anódico
	Reducción niveles producción: -	Reducción niveles producción: -	Reducción niveles producción: Para evitar emisiones de 57,4 t/año, equivalente a una reducción de 20% de producción
Altonorte	-	-	-
Potrerrillos	-	-	-
Hernán Videla Lira	Reactor: -	Reactor: Captura secundaria en boca de reactor	Reactor: Captura y tratamiento sangrado reactor Captura secundaria en boca de reactor Captura en techo de reactor
	Horno de escoria: Captura y tratamiento hornos escoria	Horno de escoria: Reemplazo de horno por sistema de flotación	Horno de escoria: Reemplazo de horno por sistema de flotación
Ventanas	Reactor: Captura secundaria en boca de reactor Captura en techo de reactor	Reactor: Captura secundaria en boca de reactor Captura en techo de reactor	Reactor: Captura secundaria en boca de reactor Captura en techo de reactor y filtro de manga
	CPS: -	CPS: -	CPS: Captura Terciaria en CPS
	Horno de escoria: -	Horno de escoria: Reemplazo de horno por sistema de flotación	Horno de escoria: Reemplazo de horno por sistema de flotación
Chagres	Reactor: -	Reactor: -	Reactor: Captura y tratamiento sangrado reactor
Caletones	-	-	-

Costos y beneficios: Costo de Paquete de medidas para escenarios de NPCA

Costos totales de alternativas regulatorias [UF/año], por fundición y tipo de costo para año de referencia

Fundiciones	Tipo de Costo	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
Fundición Chuquicamata	Inversión	-	232.000	281.200
	O&M	-	29.700	123.900
	Detención para instalación medidas	-	6.195	6.195
	Detención para cumplir NC	-	-	10.540.000
Fundición HVL	Inversión	30.460	195.700	231.000
	O&M	2.132	10.790	17.860
	Detención para instalación medidas	690	966	1.519
Fundición Ventanas	Inversión	57.130	219.400	242.700
	O&M	8.590	16.700	51.130
	Detención para instalación medidas	1.055	2.373	2.901
Fundición Chagres	Inversión	-	-	37.390
	O&M	-	-	2.617
	Detención para instalación medidas	-	-	388
Total		100.100	713.800	11.540.000

Nota: Resultados presentados con cuatro cifras significativas

Reducciones de emisiones logradas y efecto en concentraciones

Estimación de reducción de emisiones lograda (requerida)

Fundición	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
Chuquicamata	-	158,6 (152,1)	224,9 (224,9)
Altonorte	-	-	-
Potrerosillos	-	-	-
Hernán Videla Lira	5,7 (5,0)	14,6 (13,2)	16,9 (16,2)
Ventanas	5,8 (3,6)	22,5 (17,8)	23,4 (22,9)
Chagres	-	-	1,2 (0,0)
Caletones	-	-	-

Nota: Entre paréntesis se presenta la estimación de las reducciones requeridas

El proceso de selección de medidas es discreto, y luego las reducciones alcanzadas pueden ser mayores que las reducciones requeridas.

→ Esto se traduce en que las concentraciones esperadas para dar cumplimiento a la norma puedan ser menores a las concentraciones límites establecidas por la norma.

Co-beneficios:

Mejora en efectos de salud por reducción de MP2,5

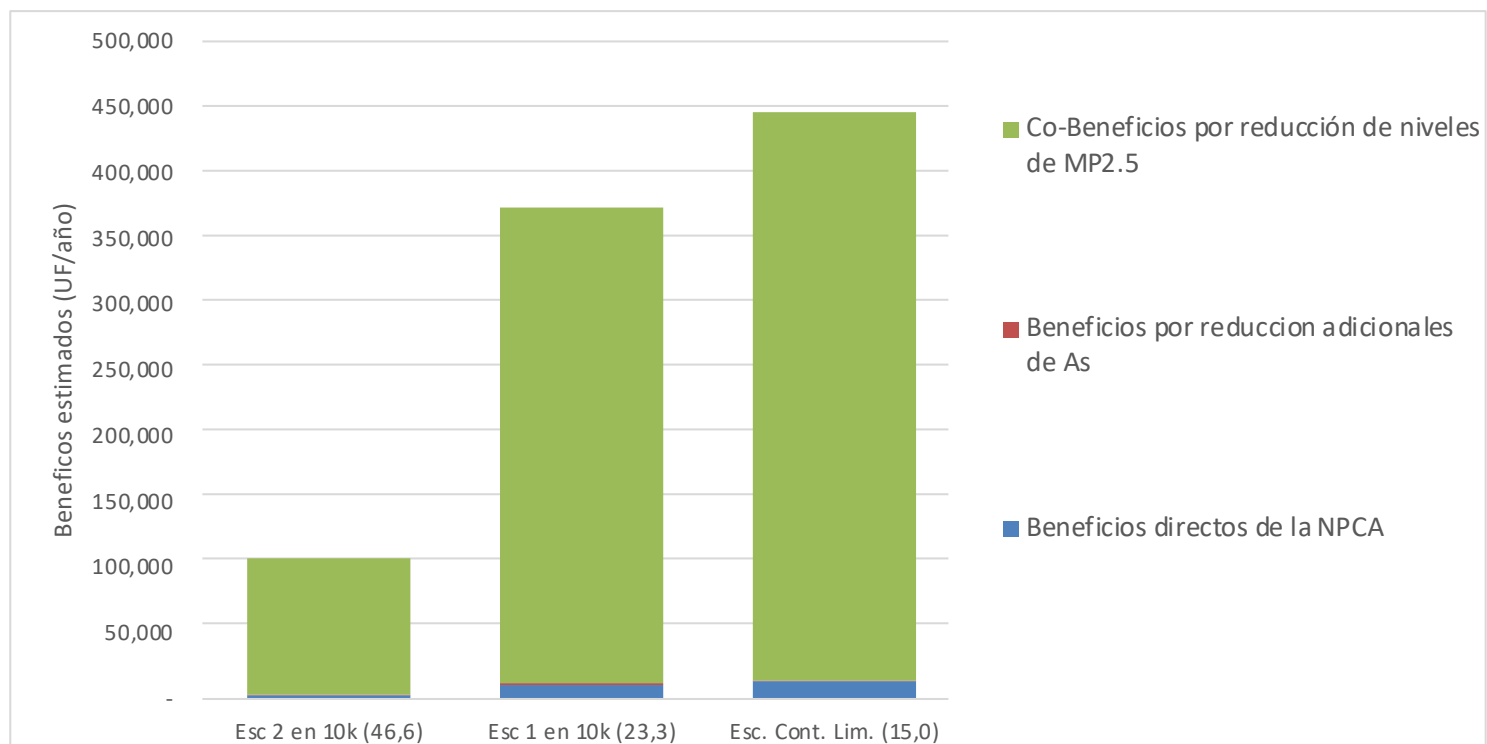
Estimación de co-beneficios [UF/año], por escenario y efecto considerado, para año de referencia

Fundición	Localidades	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc. Cont. Lim. (15,0)
Chuquicamata	Calama	-	74.272	105.156
	ChiuChiu	-	11	15
HVL	Copiapó	85.352	219.356	253.212
	Tierra Amarilla	3.062	7.884	9.105
Ventanas	Quintero	13.826	53.856	55.872
	Puchuncaví	517	2.020	2.096
	Ventanas	1.113	4.350	4.513
Chagres	Catemu	-	-	798
	Panquehue	-	-	395
	Llayllay	-	-	1.027
Total		103.870	361.748	432.188

Costos y beneficios:

Beneficios totales

Beneficios totales [UF/año] por alternativa regulatoria, para año de referencia



- Los co-beneficios corresponden a cerca del 97% de los beneficios totales estimados
- El escenario de 23,3 [ng/m³] tiene cerca de 3,7 veces más beneficios comparado con el escenario de 46,6 [ng/m³]
- El escenario de 15,0 [ng/m³] tiene cerca de 4,5 veces más beneficios comparado con el escenario de 46,6 [ng/m³]

Costos y beneficios: Indicadores descriptivos por fundición

Indicadores descriptivos de beneficios costos por fundición para escenario de alternativa regulatoria "Esc 2 en 10k (46,6)", año de referencia

Fundición	D Emisión [t/año]	Costos [UF/año]	D Cáncer [casos/año]	D Mortalidad [casos/año]	Beneficios [UF/año]	B/C
Fundición Chuquicamata	-	-	-	-	-	-
Fundición Altonorte	-	-	-	-	-	-
Fundición Potrerillos	-	-	-	-	-	-
Fundición HVL	5,7	33.282	0,16	4,7	91.089	2,74
Fundición Ventanas	5,8	66.769	0,02	0,8	15.802	0,24
Fundición Chagres	-	-	-	-	-	-
Fundición Caletones	-	-	-	-	-	-
Total	11,4	100.051	0,18	5,5	106.891	1,07

Nota: D Emisión: Delta emisión o reducción de emisión; D Cáncer: Delta cáncer o reducción en los casos esperados de cáncer; D Mortalidad: Delta mortalidad o reducción de casos esperados de mortalidad prematura; B/C: Beneficios divididos por costos (adimensional).

Indicadores descriptivos de beneficios costos por fundición para escenario de alternativa regulatoria "Esc 1 en 10k (23,3)", año de referencia

Fundición	D Emisión [t/año]	Costos [UF/año]	D Cáncer [casos/año]	D Mortalidad [casos/año]	Beneficios [UF/año]	B/C
Fundición Chuquicamata	158,6	267.883	0,19	3,9	77.502	0,29
Fundición Altonorte	-	-	-	-	-	-
Fundición Potrerillos	-	-	-	-	-	-
Fundición HVL	14,6	207.411	0,41	12,0	234.146	1,13
Fundición Ventanas	22,5	238.462	0,08	3,2	61.578	0,26
Fundición Chagres	-	-	-	-	-	-
Fundición Caletones	-	-	-	-	-	-
Total	195,8	713.756	0,68	19,2	373.226	0,52

Indicadores descriptivos de beneficios costos por fundición para escenario de alternativa regulatoria "Esc Cont Lim (15,0)", año de referencia

Fundición	D Emisión [t/año]	Costos [UF/año]	D Cáncer [casos/año]	D Mortalidad [casos/año]	Beneficios [UF/año]	B/C
Fundición Chuquicamata	224,9	10.954.956	0,27	5,6	109.734	0,01
Fundición Altonorte	-	-	-	-	-	-
Fundición Potrerillos	-	-	-	-	-	-
Fundición HVL	16,9	250.333	0,47	13,9	270.298	1,08
Fundición Ventanas	23,4	296.725	0,08	3,3	63.884	0,22
Fundición Chagres	1,2	40.395	0,00	0,1	2.236	0,06
Fundición Caletones	-	-	-	-	-	-
Total	266,4	11.542.409	0,83	22,9	446.152	0,04

Costos y beneficios: Indicadores al 2035

Escenario	Reducción de Emisión [t/año]	Reducción Cáncer al pulmón [casos/año]	Red Mortalidad prematura MP2.5 [casos/año]	Beneficios [UF/año]	Costos [UF/año]	Razón B/C
Esc 2 en 10k (46,6)	11	0,2	5,4	105.802	100.051	1,06
Esc 1 en 10k (23,3)	196	0,7	18,9	369.031	713.756	0,52
Esc Contribución Limitada (15,0)	266	0,8	22,6	441.151	11.542.409	0,04

Nota: D Emisión: Delta emisión o reducción de emisión; D Cáncer: Delta cáncer o reducción en los casos esperados de cáncer; D Mortalidad: Delta mortalidad o reducción de casos esperados de mortalidad prematura; B/C: Beneficios divididos por costos (adimensional).

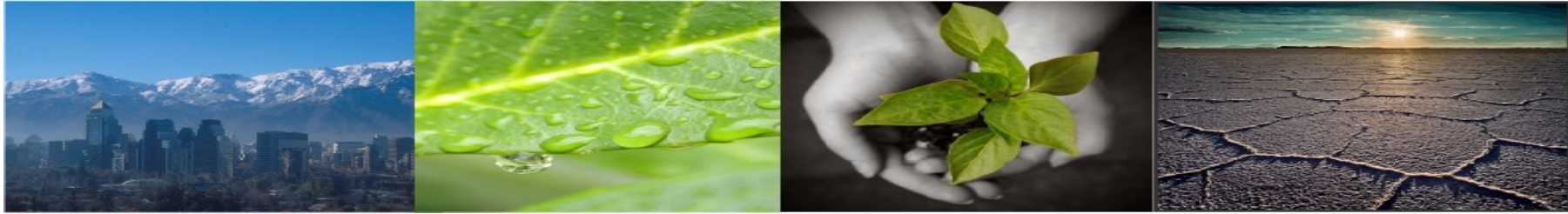
Costos y beneficios:

Indicadores descriptivos – sin Ventanas

Escenario	D Emisión [t/año]	Costos [UF/año]	D Cáncer [casos/año]	D Mortalidad [casos/año]	Beneficios [UF/año]	B/C
Esc 2 en 10k (46,6)	5,7	33.282	0,16	4,7	91.089	2,74
Esc 1 en 10k (23,3)	173,3	475.294	0,60	16,0	311.647	0,66
Esc Cont Lim (15,0)	243,0	11.245.684	0,75	19,6	382.268	0,03

Nota: D Emisión: Delta emisión o reducción de emisión; D Cáncer: Delta cáncer o reducción en los casos esperados de cáncer; D Mortalidad: Delta mortalidad o reducción de casos esperados de mortalidad prematura; B/C: Beneficios divididos por costos (adimensional).

Escenario	D E	C	D Can	D Mort	B	B/C
Esc 2 en 10k (46,6)	11	100.051	0,2	5,4	105.802	1,06
Esc 1 en 10k (23,3)	196	713.756	0,7	18,9	369.031	0,52
Esc Cont Lim (15,0)	266	11.542.409	0,8	22,6	441.151	0,04



000809



dictuc
GREENLAB

MUCHAS GRACIAS