

Revisión Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico

Presentación Comité Operativo Ampliado | SESIÓN N°2/2022
Miércoles 30 de noviembre, 2022

División de Calidad del Aire
Ministerio del Medio Ambiente



Objetivo

Abordar los resultados y los criterios del artículo 39 del D.S N°38 de 2012, reglamento de dictación y revisión de normas, en el literal d), Los resultados de las investigaciones científicas que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos a las personas o a los recursos naturales.

Por otro lado, conocer los resultados del estudio referente a la revisión de la normativa internacional, mejor tecnología disponible para control de emisiones y los escenarios regulatorios propuestos.



Tabla

- Presentación de los integrantes de este comité operativo ampliado y próximas sesiones
- Presentación 1: Sobre la caracterización de efectos adversos en salud asociados a las fundiciones

Expositor: Daniel Rebolledo - CITUC

- Presentación 2: Revisión de Normativa internacional y escenarios regulatorios propuestos, resultados preliminares de Costos y Beneficios de escenarios regulatorios propuestos.

Expositor: Luis Cifuentes - Greenlab-DICTUC



i. Integrantes Comité Operativo Ampliado



2. Integrantes Comité Operativo Ampliado

Revisión Norma Emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico - D.S N° 28 de 2013

000829

1. Sra. María José Kaffman en representación de FIMA, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sra. Sofía Valenzuela Zuccar

2. Sr. Sergio Demetrio en representación del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sr. Ricardo Bassa o Sr. Claudio Dodds

3. Sr. Sergio Chamorro en representación de la Federación Nacional de Pobladores y Pobladoras de Chile

4. Sr. Freddy Viñales Viñales en representación de Comunidad Indígena La Banda

5. Sr. Luciano Travella Barrios en representación de CODEMAA

6. Sr. Eduardo González en representación de Agrupación cultural uniendo barrios Paipote, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sra. Lisette Tello

7. Sr. Nielz Cortés en representación del Consejo para la Recuperación Ambiental y Social de Quintero y Puchuncaví, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sra. Elena Orellana o Sra. María Araya

8. Sr. Alex Antonio Galleguillos Rodríguez en representación de Agrupación Catemu en Movimiento

9. Sra. María Alejandra Vicencio Vargas en representación de Mesa Técnico Ambiental de Catemu

10. Sr. Damián Oyarzun Valenzuela en representación de CODELCO, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sr. Vicente Guzmán Bernal o Sr. Cristián Cortés Egaña o Sr. Jorge Cáceres o Sra. Paula Medina Fuentes.

11. Sra. Stephanie Wilhelm Núñez en representación de ENAMI

12. Sr. Eduardo Álvarez en representación de Fundición Altonorte

13. Sra. Kattherine Ferrada Fuentes en representación de Fundición Chagres, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sra. Shirley Alfaro Muñoz

14. Sr. Fernando Flores Maureira en representación de SONAMI

15. Sr. Cristóbal Ramírez en representación de Consejo Minero

16. Sr. Jorge Cáceres Ormeno en representación de SOFOFA

17. Sr. Gustavo Lagos Cruz-Coke en representación de Pontificia Universidad Católica de Chile

18. Sr. Jorge Molina Beltrán en representación de Universidad Santiago de Chile

19. Sr. Francisco Cereceda en representación de Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) de la Universidad Técnica Federico Santa María

20. Sr. Domingo Jullian Fabre en representación de Universidad de O'Higgins

21. Sr. Osvaldo Pavez Miqueles en representación de Universidad de Atacama

22. Sra. Beatriz Aida Helena Soto en representación de Universidad de Antofagasta

23. Sr. Julio Castro en representación de Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile – AIC, quien podrá ser subrogado en caso de ausencia o impedimento por Sra. Leslie Lira o Sr. Mauricio Pérez

- Comité Operativo Revisión D.S N° 28 de 2013

N°	Institución	Titular	Suplente
1	Superintendencia del Medio Ambiente	Elizabeth Salinas Donaire	Juan Pablo Rodríguez Fernández
2	Comisión Chilena del Cobre	Pedro Santic Contreras	Juan Manuel Salazar Alvarez
3	Ministerio de Obras Públicas	Jorge Oñate Albornoz	Víctor Pérez Arias
4	Ministerio de Economía	Javier Poblete	Marcela Klein
5	Servicio Agrícola y Ganadero	Mario Ahumada	Gustavo Cáceres
6	Ministerio de Minería	Gabriela Encina Vera	Rodrigo Román Berguecio Gabriela Egaña Rodríguez María de la Luz Vásquez
7	Ministerio de Salud	Walter Folch	Oswaldo Negrón

ii. Calendario de Sesiones

Revisión del D.S N° 28 de 2013

Actividad	Objetivos	Fecha tentativa / observación
3° reunión C.O.A.	Obj: Presentaciones técnicas (1) Estado de cumplimiento normativo SMA (2) Estado actual de las fundiciones en Chile	20 de diciembre de 2022
4° reunión C.O.A.	Obj: Presentaciones de antecedentes de los integrantes de este comité	Mediados de Enero 2023
5° reunión C.O.A.	Obj: (1) Presentación de Anteproyecto de Norma (2) Resultados del AGIES	Marzo 2023
6° reunión C.O.A.	Obj: Plan de participación Consulta pública	Marzo 2023



Ministerio del
Medio
Ambiente

Gobierno de Chile





FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

000831 vta

**Recopilación de información disponible acerca
de los efectos adversos producidos por la
exposición en la población, tanto desde el
punto de vista epidemiológico como
toxicológico**



FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

000832

**“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”**

ID Licitación: 608897-23-LP21

Daniel Eduardo Rebolledo Fuentes

Coordinador de Proyectos de Investigación

PERFIL TOXICOLÓGICO

➤ Recopilación de información: Bases de Datos

IBM Micromedex[®] My Subscription | Gateway | Training Center | Help | Download Center | Logout

Home Drug Interactions IV Compatibility Drug ID Drug Comparison CareNotes NeoFax Other Tools Admin

Search Drug, Disease, Toxicology, and more

All Drug Disease Toxicology

Keyword search

Ask Watson
Search Micromedex drug information

Learn more

Latest News

- Symdeko(R) for Younger Ped Patients

Read Top News

Support & Training

- Citing Micromedex
- Clinical Consulting & Services
- Integrated Content Options for MJ & More
- Product User Tips & Quick Answers
- Training Center
- User Guide

Support Request

Resources

- Black Box Warnings
- Comparative Tables
- Do Not Confuse Drug List
- Drug Classes
- Drug Consults
- REMS

Download Mobile Apps

© Copyright IBM Corporation 2019 | About | Contact | Training Center | User Guide | Warranty & Disclaimer | Micromedex.com

PERFIL TOXICOLÓGICO

➤ Recopilación de información: Bases de Datos

The screenshot displays the RightAnswer(R) Knowledge Solutions OnSite(TM) Application interface. The window title is "RightAnswer(R) Knowledge Solutions OnSite(TM) Application". The interface includes a menu bar with "Edit", "Navigate", and "Help". Below the menu bar, there is a navigation bar with "Volume 2013-2" and a logo for "RightAnswer". The main content area is titled "Integrated Index® Search" and shows search results for "ARSENIC". The results are organized into several categories:

- HAZARDTEXT™ Documents**: [ARSENIC](#)
- REPROTEXT® Documents**: [ARSENIC](#)
- MEDITEXT® Documents**: [ARSENIC](#)
- RTECS® Registry**: [Arsenic](#)
- HSDB® Data Bank**: [ARSENIC_ELEMENTAL](#)
- NIOSH Documents**: [Arsenic \(inorganic compounds, as As\)](#)
- ERG2012 Guidebook**: [6 Documents](#)
- New Jersey Fact Sheets**: [2 Documents](#)
- IRIS Documents**: [Arsenic_inorganic](#)
- CHRIS Documents**: [ARSENIC](#)
- OHM/TADS Documents**: [ARSENIC](#)
- REPROTOX® Documents**: [ARSENIC](#)
- Shepard's Catalog**: [Arsenic](#)

The interface also features a sidebar with navigation options: SEARCH (New Search, Source Listings), BOOKMARKS (Manage Bookmarks, Save Bookmark), HELP, and LEGAL. The bottom of the window shows a Windows taskbar with various application icons and system tray information including the date "07-06-2013" and time "0:04".



FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

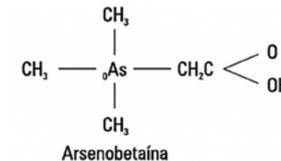
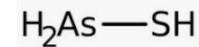
000833 vta

**Identificar las vías, fuentes, rutas y medios de
exposición del arsénico**

Arsénico: Generalidades

En el medio ambiente

- Forma inorgánica → O₂, Cl o S
- Forma orgánica → C e H

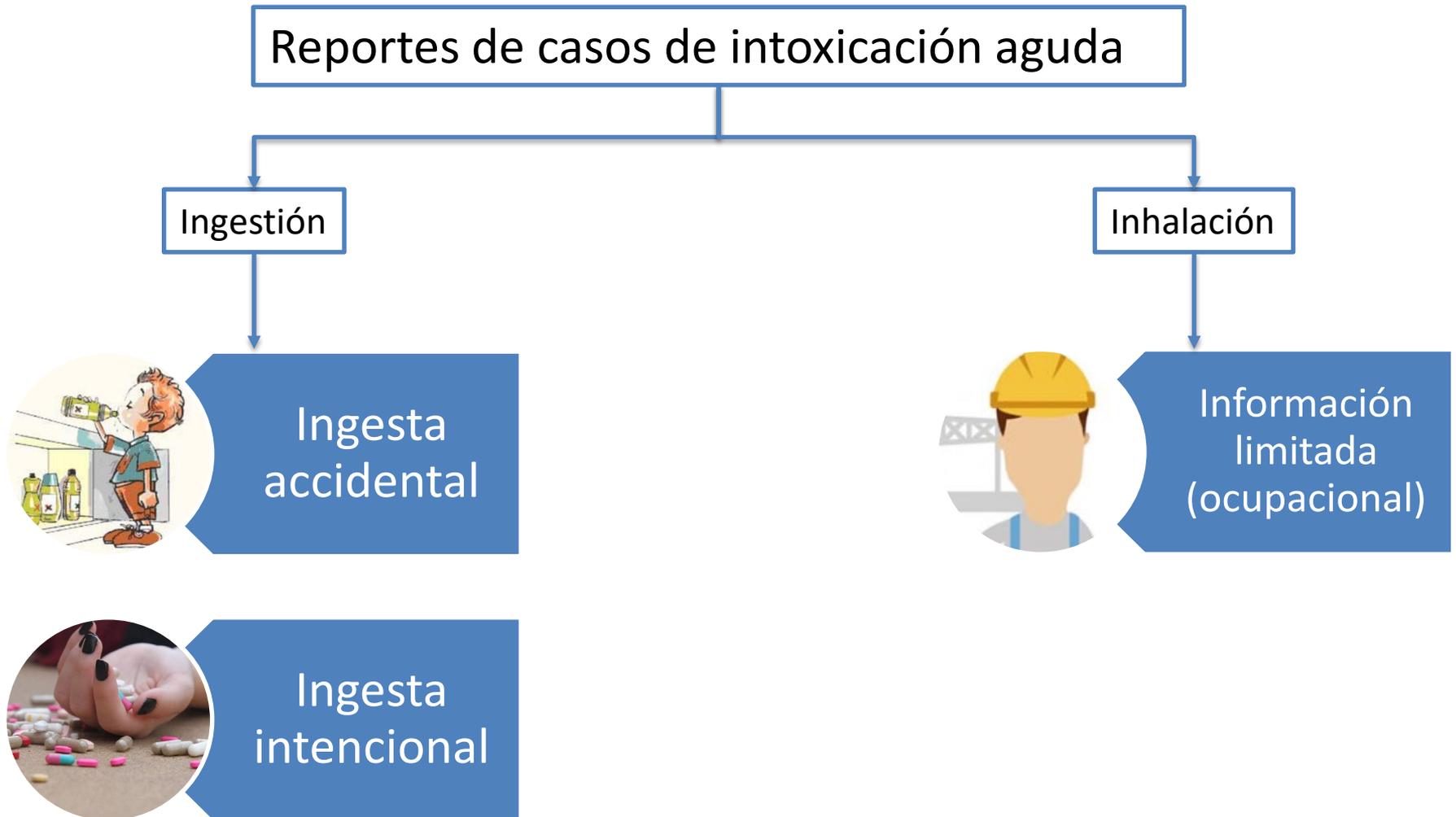


Emisiones atmosféricas:

- Naturales → resuspensión de polvo, erupciones volcánicas
- Antropogénicas → Procesos de extracción y fundición de minerales, funcionamiento de plantas de energía

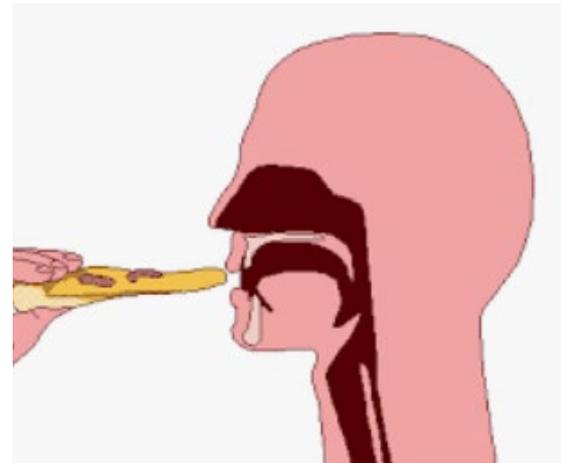
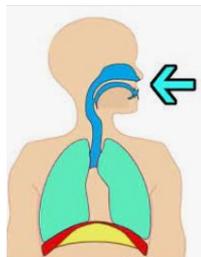


Información toxicológica



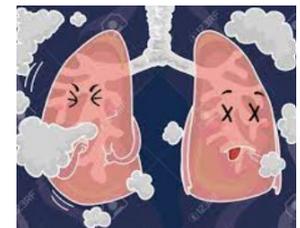
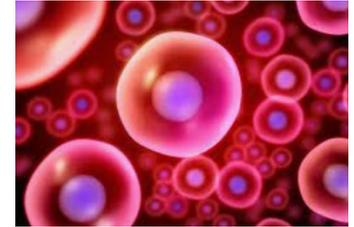
Rutas de exposición

- La inhalación aporta menos del 1% de la dosis total absorbida de As.
- La ingesta la principal vía de exposición (European Commission. (2000). Ambient Air Pollution by AS, CD and NI compounds).



Efectos adversos asociados a la exposición al arsénico

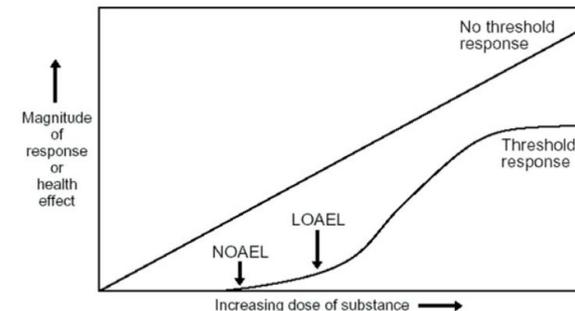
- El arsénico afecta a casi todos los procesos celulares funciones de los órganos de nuestro cuerpo.
- Dependiendo del tipo de exposición al arsénico (exposición aguda o crónica), el desarrollo de síntomas clínicos varía.
- Para observar una intoxicación aguda debe existir exposición a dosis particularmente altas (solo en ambientes ocupacionales) pueden producir daños en los órganos que pueden provocar la muerte.



Efectos adversos asociados a la exposición al arsénico

- Estudios de exposición ocupacional → correlación entre la exposición al arsénico inorgánico y la mortalidad por cáncer de pulmón (efecto crítico) → clasificado como carcinógeno en humanos.
- La caracterización RECV → estimación del riesgo incremental de cáncer (incremento en la probabilidad de un individuo de desarrollar cáncer por la exposición a un compuesto cancerígeno).
- La estimación del riesgo de cáncer de por vida (RECV) → por la vía de inhalación →

$$\text{Concentración aire} \times \text{IUR} = \text{RECV}$$



El efecto crítico a la salud por la exposición al arsénico en el aire es el cáncer de pulmón

Criterio de toxicidad Inhalation Unit Risk (IUR) (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 1.000.000 (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 100.000 (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 10.000 (ng/m ³)	Efecto crítico	Fuente
4,3	0,2	2,3	23,3	Cáncer pulmonar	(USEPA, 2011)
3,3	0,3	3,0	30,3	Cáncer pulmonar	(CARB, 1990)
1,5	0,7	6,7	66,7	Cáncer pulmonar	WHO Air Quality Guidelines for Europe.
0,7	1,4	14,3	142,9	Cáncer pulmonar	Netherlands (Dutch Expert Committee on Occupational Safety, DECOS) (Lewis et al., 2015)
0,2	6,7	66,7	666,7	Cáncer pulmonar	TCEQ (Erraguntla et al., 2012)

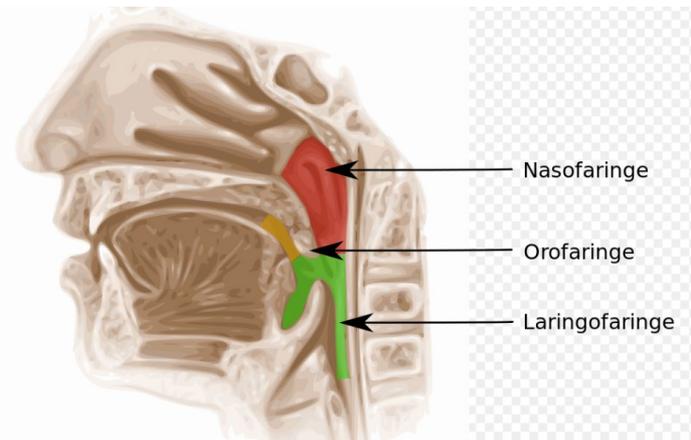
Dióxido de azufre (SO₂): Toxicocinética

SO₂ → muy soluble en agua
y forma ácido sulfuroso (H₂SO₃)



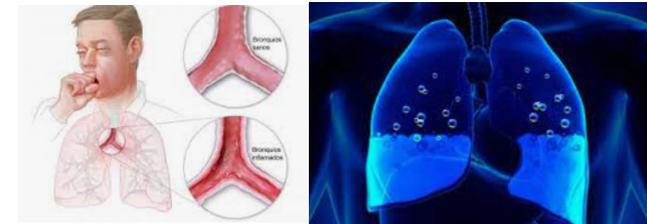
Es absorbido y forma ácido sulfuroso (H₂SO₃) o alguno de sus productos de la ionización

Más del 90% SO₂ es absorbido en la zona nasofaríngea. El SO₂ absorbido es oxidado a ion sulfato casi en su totalidad y excretado de esta forma (IBM Watson Health, 2022e).



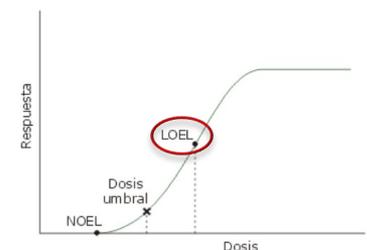
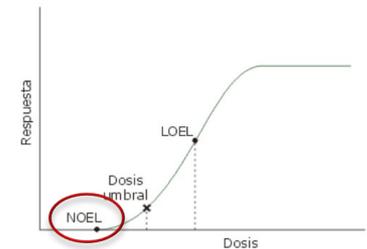
Dióxido de azufre (SO₂): Exposición Aguda

- Pueden causar síntomas por irritación → sensación de quemazón en ojos, nariz y garganta, lagrimeo y tos. Síntomas más severos incluyen sibilancias, bronquitis químicas y laringoespasma.
- En exposiciones severas → neumonitis químicas y edema pulmonar no cardiogénico. (IBM Watson Health, 2022e).
- Se ha observado reducción en la función pulmonar media en personas expuestas en reposo por 10 min a 4 ppm (10.480 µg/m³)
- No se observan cambios significativos a 1 ppm (2.620 µg/m³), incluso exponiéndose, haciendo ejercicio.
- En asmáticos haciendo ejercicio la concentración mínima que puede generar alguna alteración es de 0,4 ppm (1.048 µg/m³) (WHO, 2000b).



Dióxido de azufre (SO₂): Exposición crónica

- Expo. altas concentraciones → efectos residuales, como enfermedad pulmonar obstructiva o restrictiva, síndrome de vías aéreas reactivas o bronquitis crónica (IBM Watson Health, 2022e).
- En trabajadores se evaluó el efecto de la exposición crónica de SO₂ a 0,35 ppm (917 µg/m³). → No se observaron efectos (IBM Watson Health, 2022e).
- La exposición promedio de 29-32 ppm (54.572 - 83.834 µg/m³) con peaks de 100 ppm (262.005 µg/m³) → no se observó daño en el árbol bronquial o alvéolos. (IBM Watson Health, 2022e).
- Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC).



**CARCINOGENIDAD
NO CLASIFICABLE**
Evidencia insuficiente en humanos.
Evidencia insuficiente en animales.

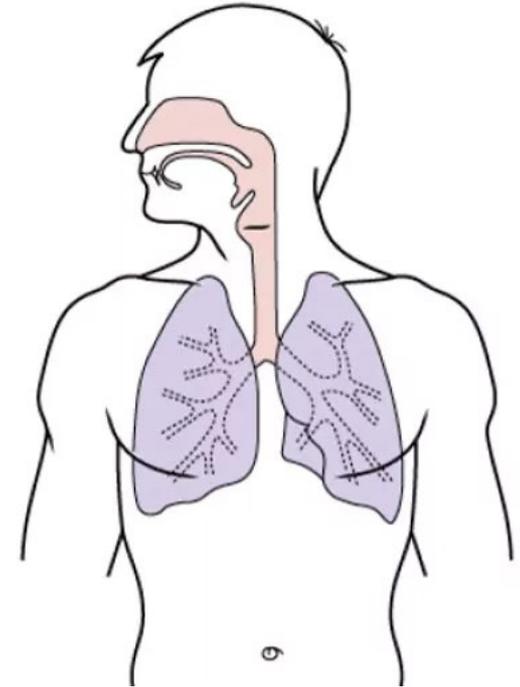
Material Particulado (MP): Toxicocinética

- El PM₁₀ y PM_{2.5} son partículas inhalables suficientemente pequeñas para penetrar en la región torácica del sistema respiratorio.
- La capacidad de penetración en el sistema respiratorio es el punto clave en la cinética de estos compuestos.
- De forma más específica, el PM₁₀ clasifica el subgrupo de partículas inhalables que son suficientemente pequeñas para entrar a regiones traqueobronquiales y alveolares.
- El PM_{2.5} además tiene penetración en la región donde se efectúa el intercambio gaseoso del sistema respiratorio (Brown, Gordon, Price, & Asgharian⁴, 2013).



Material Particulado (MP): Exposición aguda

- El PM10 provoca efectos agudos en el sistema respiratorio.
- La exposición a partículas finas puede causar irritación en ojos, nariz y garganta y vía respiratoria, tos, sibilancias, congestión nasal y disnea.
- Pueden afectar la función pulmonar y aumentar la sintomatología de condiciones como el asma y enfermedad cardíaca (Department of Health New York State, 2018).



Material Particulado (MP): Exposición crónica

Exposición crónica a material particulado fino (PM 2.5) se ha asociado →



aumento de la incidencia de bronquitis crónica



Reducción de la función pulmonar



enfermedad cardíaca.

Poblaciones con sensibilidad mayor al efecto del PM 2.5 (Department of Health New York State, 2018). →



Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC).



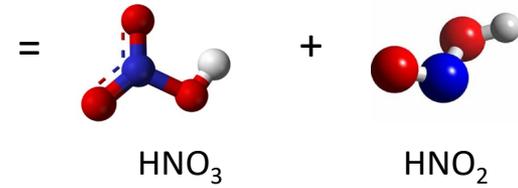
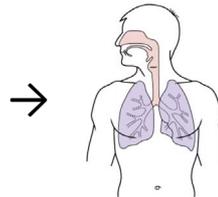
CARCINÓGENO PARA LOS HUMANOS

Evidencia suficiente en humanos.
Relación causal establecida.

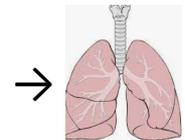
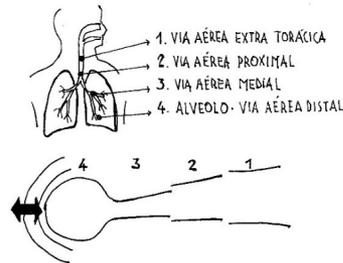
Óxidos de nitrógeno (NO_x): Toxicocinética



reaccionan lentamente con el agua en el tracto respiratorio

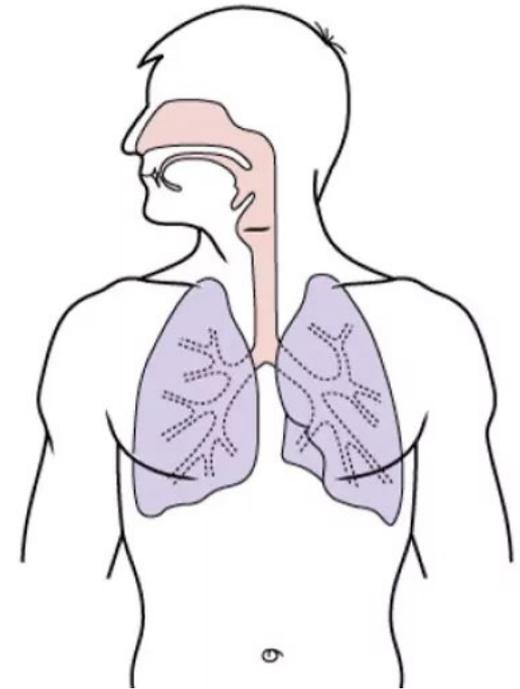


- Los NO_x tienden a alcanzar las vías aéreas distales y el parénquima pulmonar
- Los intermediarios de NO_x y el NO₂ permanece en los pulmones por periodos prolongados de tiempo, observado en modelos animales con monos y el NO₂ es absorbido en los pulmones (IBM Watson Health, 2022d)
- La absorción puede ser de 70-90% por inhalación. Una porción importante del NO₂ inhalado es removido en la zona nasofaríngea (alrededor del 50% en modelos animales) (WHO, 2000a).



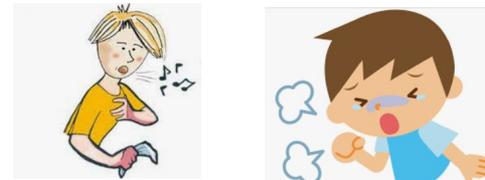
Óxidos de nitrógeno (NO_x):Exposición aguda

- La exposición aguda a NO_x → tos, hiperpnea y disnea, en casos extremos, podría haber insuficiencia respiratoria aguda, la cual puede retrasarse entre 4 y 24 horas post exposición.
- El NO₂, puede causar broncoespasmo, enfermedad obstructiva pulmonar aguda (IBM Watson Health, 2022d).
- En personas con enfermedad pulmonar, se estima que exposiciones a 0,30 ppm podrían alterar la función pulmonar, haciendo ejercicio leve a moderado por 30 min (WHO, 2000a).



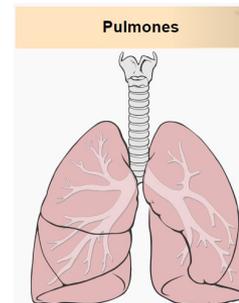
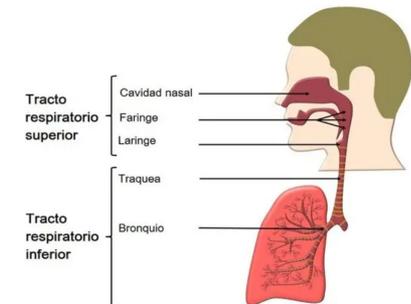
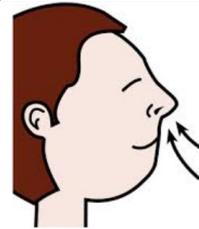
Óxidos de nitrógeno (NO_x):Exposición crónica

- Se ha observado en estudios epidemiológicos que la exposición permanente a NO₂ se asocia con efectos respiratorios en la niñez, más que en la adultez.
- Principalmente se ha asociado la exposición a NO₂ con mayor incidencia de resfríos, congestión en vías respiratorias, presencia de flemas en resfriados, sibilancias, asma y tos (WHO, 2000a).
- La IARC no ha evaluado a este compuesto en el riesgo de carcinogenicidad.

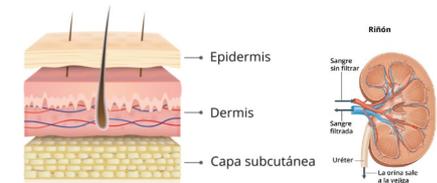


Níquel (Ni): Toxicocinética

- Aproximadamente el 35% del níquel inhalado es absorbido, pasando a la sangre desde el tracto respiratorio.
- Las partículas inhaladas son depositadas en el tracto respiratorio alto o bajo, dependiendo del tamaño de la partícula. (IBM Watson Health, 2022c).
- El níquel se distribuye principalmente en pulmones, riñón, piel, sin embargo, la concentración más alta siempre está en los pulmones (IBM Watson Health, 2022c).
- La eliminación del níquel por vía biliar, pelo, transpiración y saliva. La vía de excreción más importante es la orina, la cual excreta la mayoría de la dosis absorbida (alrededor de un 90%) (IBM Watson Health, 2022c).

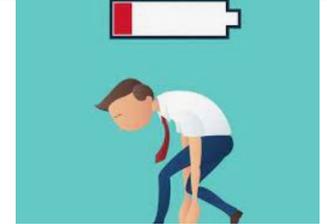


>



Níquel (Ni): Exposición aguda

- Mareos, dolor de garganta, ronquera y debilidad.

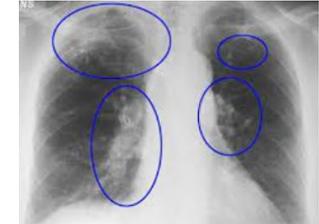


- A veces se informan gingivitis, estomatitis, sabor metálico, irritación nasal, daño de la mucosa nasal, hiposmia/anosmia, tos y dificultad para respirar (IBM Watson Health, 2022c).



Níquel (Ni): Exposición crónica

- La inhalación de polvos de níquel ha sido asociada con irritación pulmonar, asma, neumoconiosis, fibrosis y edema pulmonar (IBM Watson Health, 2022c).



- La inhalación de níquel puede causar tumores a nivel pulmonar y senos nasales,

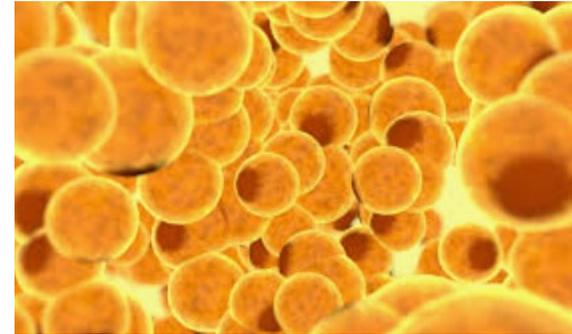


**CARCINÓGENO PARA
LOS HUMANOS**

Evidencia suficiente en humanos.
Relación causal establecida.

Vanadio (V): Toxicocinética

- El vanadio es encontrado en trazas en casi todos los tejidos del organismo, aunque se acumula en tejido graso, el cual concentra un 90% de la cantidad del organismo.
- Modelos animales han demostrado que las sales de Vanadio son excretadas rápidamente de la orina (IBM Watson Health, 2022f).



Vanadio (V): Exposición aguda

- La inhalación de polvos de Vanadio puede ocasionar síntomas respiratorios.
- Se ha descrito que estos síntomas pueden durar hasta 2 semanas tras la exposición.
- Los síntomas son irritativos (IBM Watson Health, 2022f).



Vanadio (V): Exposición crónica

- Se ha vinculado la exposición a vanadio con rinitis atrófica, bronquitis crónica, fibrosis pulmonar difusa (IBM Watson Health, 2022f).



- No se ha observado que el Vanadio sea carcinógeno para humanos No ha sido clasificado por la IARC (IBM Watson Health, 2022f).

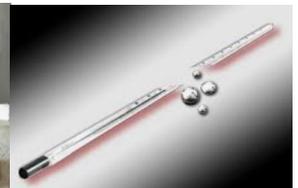
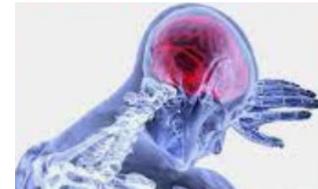
Mercurio (Hg): Toxicocinética

- Se estima que entre el 74 al 80% de la inhalación de vapores de mercurio son absorbidos, el cual es rápidamente oxidado en mercurio divalente.
- Alrededor del 2% de la dosis absorbida es excretada en orina a los 7 días y el 9% a través de las heces, en el mismo periodo de tiempo (IBM Watson Health, 2022b),



Mercurio (Hg): Exposición aguda

- La inhalación de vapores de mercurio afecta principalmente a los pulmones, generando neumonitis, bronquiolitis necrótica, edema pulmonar y muerte (IBM Watson Health, 2022b).
- De todas formas, también se podrían generar efectos sistémicos; a nivel neurológico y renal (ATSDR, 2022).
- Niños pequeños han desarrollado toxicidad aguda tras la inhalación por 2 semanas de vapores de mercurio procedentes de un termómetro roto y que fue derramado en la alfombra.



Mercurio (Hg): Exposición crónica

- La intoxicación crónica se desarrolla por la inhalación de vapores de mercurio elemental o partículas con mercurio. Puede manifestarse después de semanas de una exposición a alta cantidad o desarrollarse de forma insidiosa a través de los años.
- El cuadro se caracteriza : alteraciones psiquiátricas, temblor y gingivomastitis, a la cual puede adicionarse acrodinia, irritabilidad, insomnio, diaforesis, hipertensión, disfunción renal, entre otras.
- La IARC tiene clasificado a los componentes del mercurio elemental e inorgánico en el Grupo 3

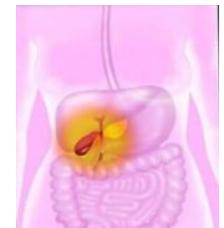
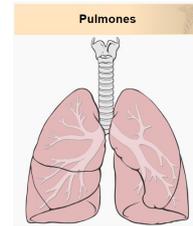


CARCINOGENICIDAD
NO CLASIFICABLE

Evidencia insuficiente en humanos.
Evidencia insuficiente en animales.

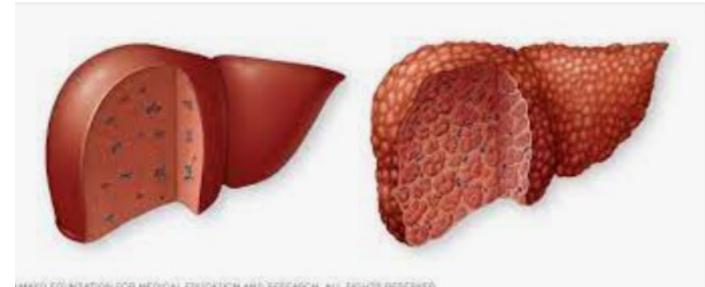
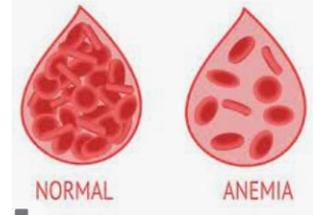
Plomo (Pb): Toxicocinética

- Puede llegar a los pulmones tras la inhalación de partículas finas, vapores o humos. Una vez en los pulmones, será absorbido en su totalidad.
- Sobre el 90% del plomo absorbido es depositado en los huesos.
- La vía de excreción más importante es la bilis y una cantidad pequeña es excretada por pelo, uñas, sudor y orina (IBM Watson Health, 2022a).



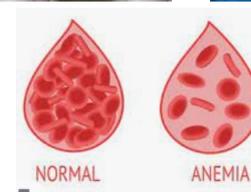
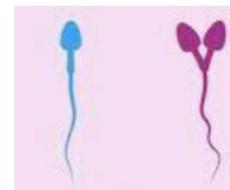
Plomo (Pb): Exposición aguda

- Exposiciones agudas a grandes cantidades de plomo pueden causar dolor abdominal, náusea, vómitos, anemia (usualmente hemolítica), hepatitis tóxica y encefalopatía (IBM Watson Health, 2022a).



Plomo (Pb): Exposición crónica

- Exposiciones a bajas cantidades se relaciona con el desarrollo neurológico en niños → disminución en el cociente intelectual en poblaciones con niveles de plomo de 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$.
- En adultos se asocia con aumento de la presión arterial, aborto espontáneo, y anomalías espermáticas.
- Otras alteraciones descritas son fatiga, somnolencia, cefaleas, insomnio, dolor abdominal, constipación, anemia, mialgias, artralgias y debilidad moderada (IBM Watson Health, 2022a).



Plomo (Pb): Exposición crónica

- La IARC clasifica a las sustancias con plomo inorgánico como 2A (probablemente carcinógenas para humanos) (IARC, 2018a)



PROBABLEMENTE
CARCINÓGENO
PARA LOS HUMANOS

Evidencia limitada en humanos.
Evidencia suficiente en animales.

- Preguntas



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 DE EMISIÓN

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente

Objetivos del estudio

La investigación al servicio de una política pública sustentable



2

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.

ESCENARIO NACIONAL E INTERNACIONAL PARA FUNDICIONES DE COBRE Y FUENTES EMISORAS DE ARSÉNICO

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Fundiciones y fuentes emisoras de arsénico en Chile

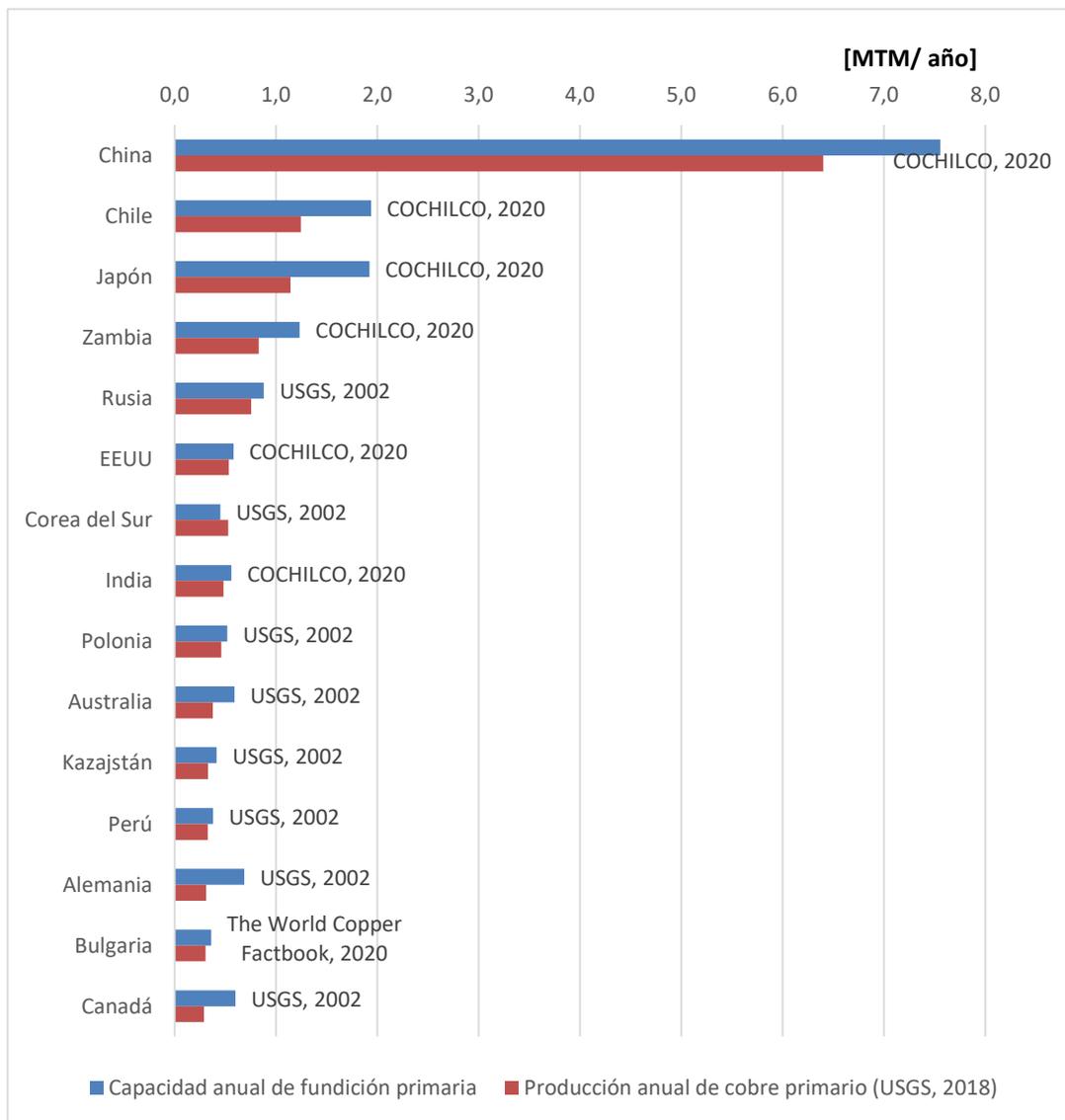
000851

Fuente Emisora	Capacidad procesamiento (Mt/año)	Reactor	Número de CPS	Tratamiento Escoria	Hornos de Refino	Planta de ácido
DCH	1,17	Horno Flash	4	Flotación	6 hornos de refino	2 PAS doble contacto
ALN	1,16	Reactor Noranda	4	Flotación	3 hornos de refino	2 PAS doble contacto
POT	0,68	Convertidor Teniente	3	Flotación	2 hornos de refino	1 PAS doble contacto
HVL	0,38	Convertidor Teniente	2	HELE/HLE	1 horno derefino	2 PAS contacto simple + PTGC
DVE	0,43	Convertidor Teniente	3	HELE/HLE	2 hornos de refino + 1 hornos basculante	1 PAS doble contacto
CHG	0,65	Horno Flash	4	HELE/HLE	2 hornos de refino	1 PAS doble contacto
CAL	1,40	Convertidor Teniente (x2)	4	Flotación	4 hornos de refino	2 PLG

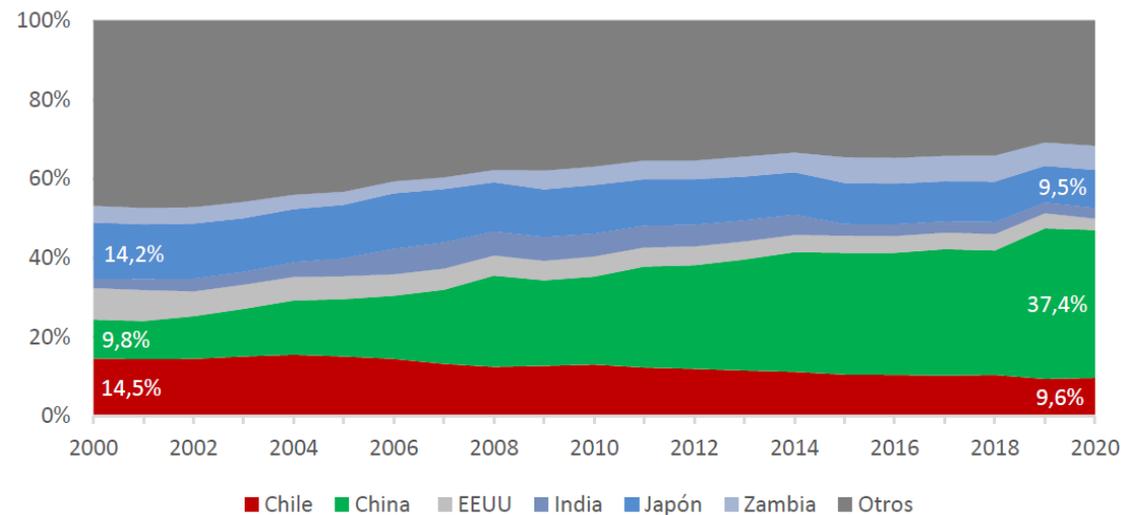
Además de las fundiciones, sólo la Planta de Tostación de la DMH cumple con la definición de fuente emisora de arsénico del DS28/2013.

- Capacidad nominal de 550 kt/año de producción de calcinas
- Tratamiento de gases incluye planta de tratamiento de efluentes de arsénico y planta de ácido de doble contacto

Escenario internacional de fundiciones de cobre

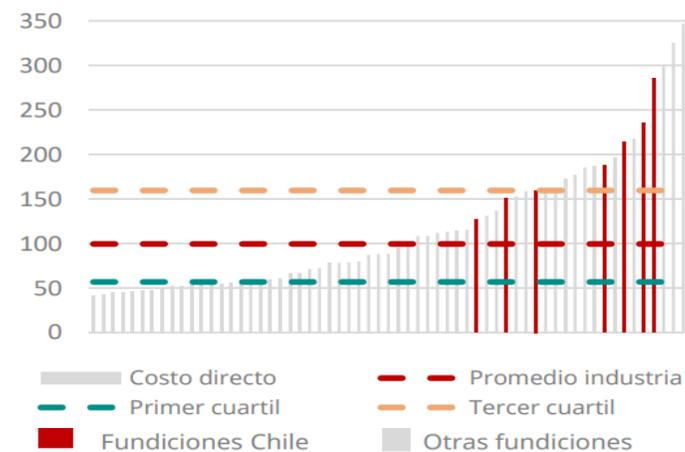


Capacidades de producción en fundiciones primarias y producción de cobre fundido primario [TMF/año] en el top 15 de los países fundidores de cobre en el mundo



Evolución de la capacidad de fundición por país entre 2000 y 2020 en los principales países fundidores de cobre y otros [% de participación]

Fuente: (COCHILCO, 2021) con base en datos de Wood Mackenzie



Costos directos de fundición [USD/ton de concentrado], 2020

Resumen de regulaciones para fundiciones de cobre y fuentes similares

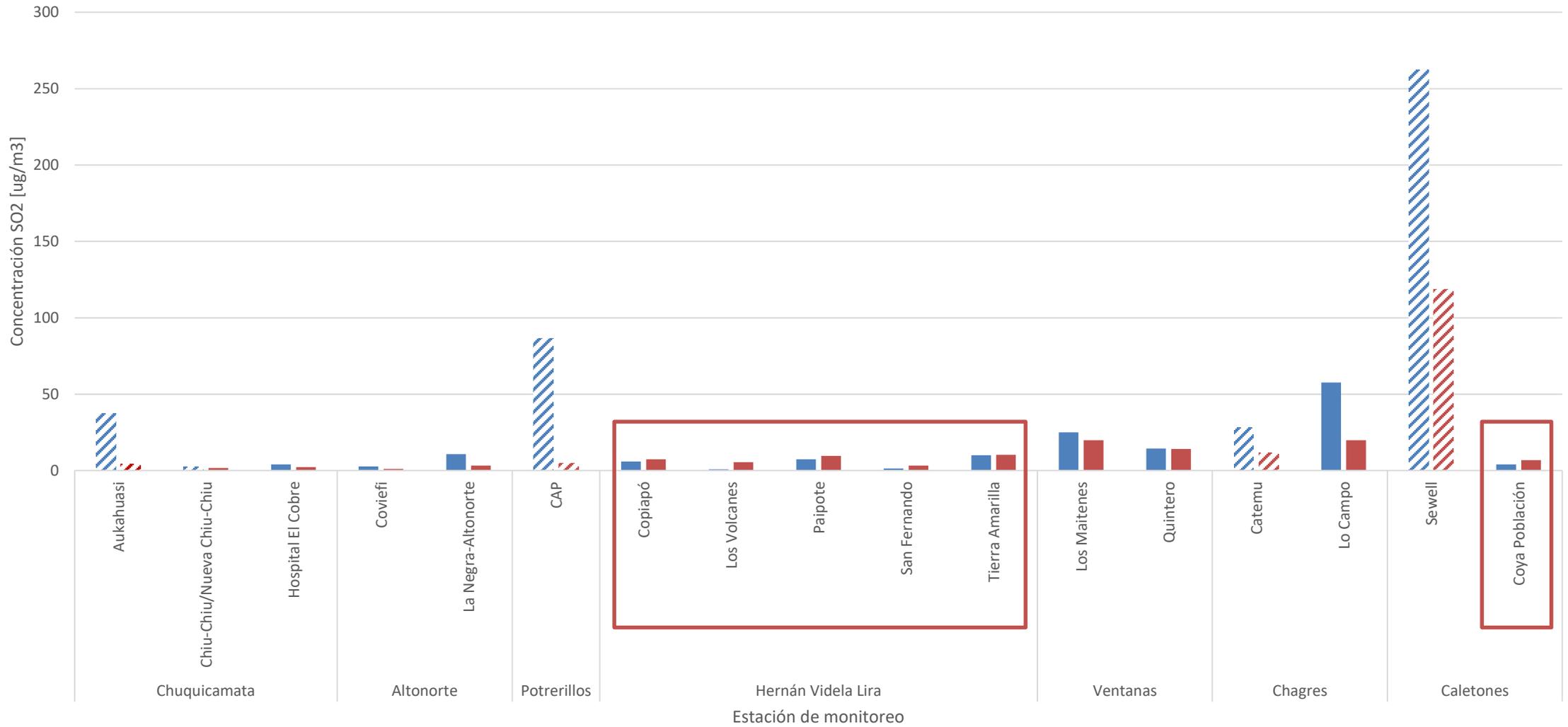
Legislatura	Normas	Contaminantes	Tipo normativa	Otras fuentes incluidas
Chile	NE (2013)	SO ₂ ; As; MP; Hg	Límites anuales Límites emisiones puntuales	Secadores Fuente con tratamiento térmico de cobre y oro, con contenido de As > 0,005% en su alimentación.
EEUU	Performance (1976) Arsenico (1986) NESHAP (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	-

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>

Evolución de cambios de calidad del aire: SO2

000853



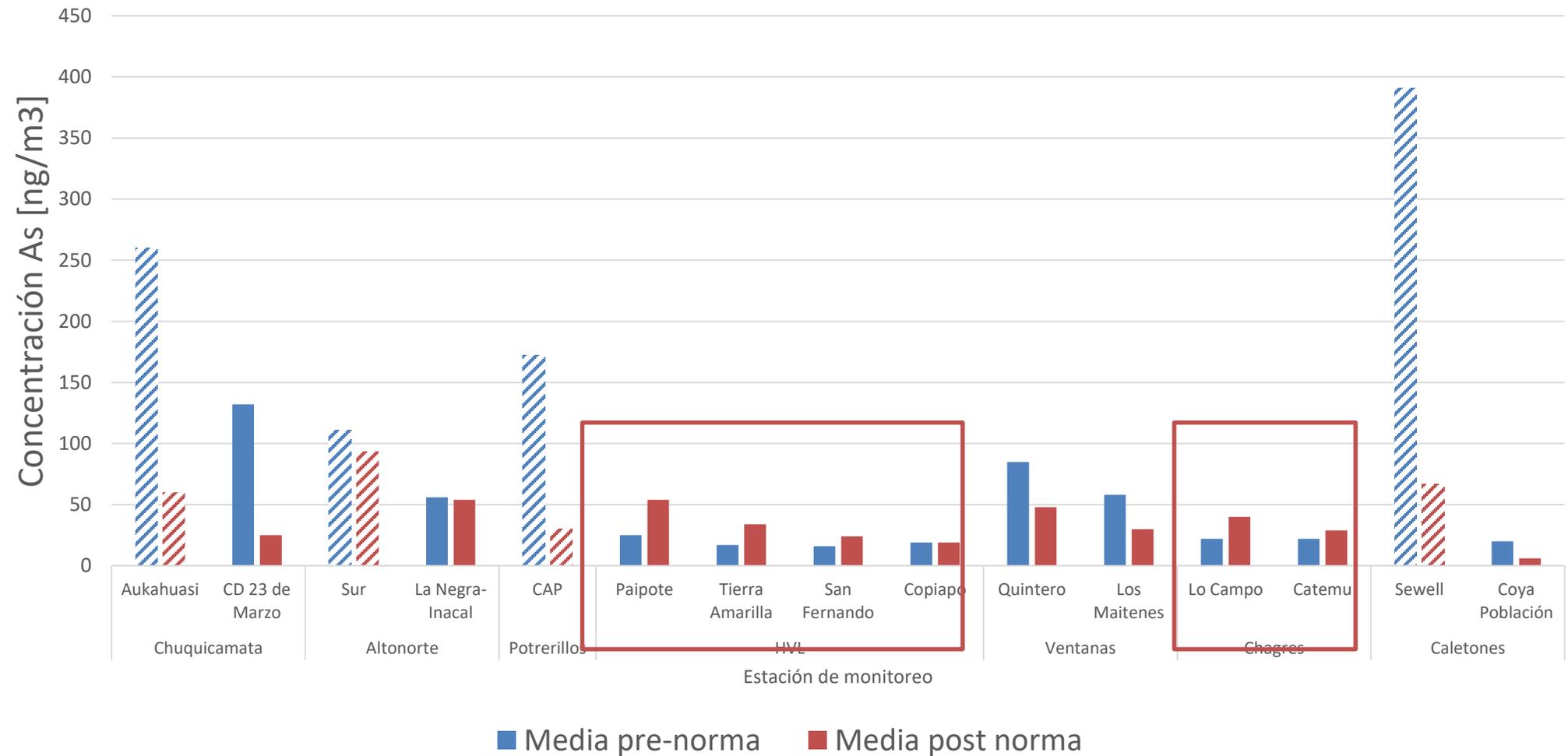
■ Estación cercana a fundición, representativa de SO2
 ▨ Estación cercana a fundición, no representativa de SO2

■ Media pre-norma ■ Media post norma

Efecto de la norma de emisión en concentraciones ambientales de Arsénico

000853 vta

Variación en las mediciones acciones de As [ng/m3] 3 años antes/después de la aplicación de la norma

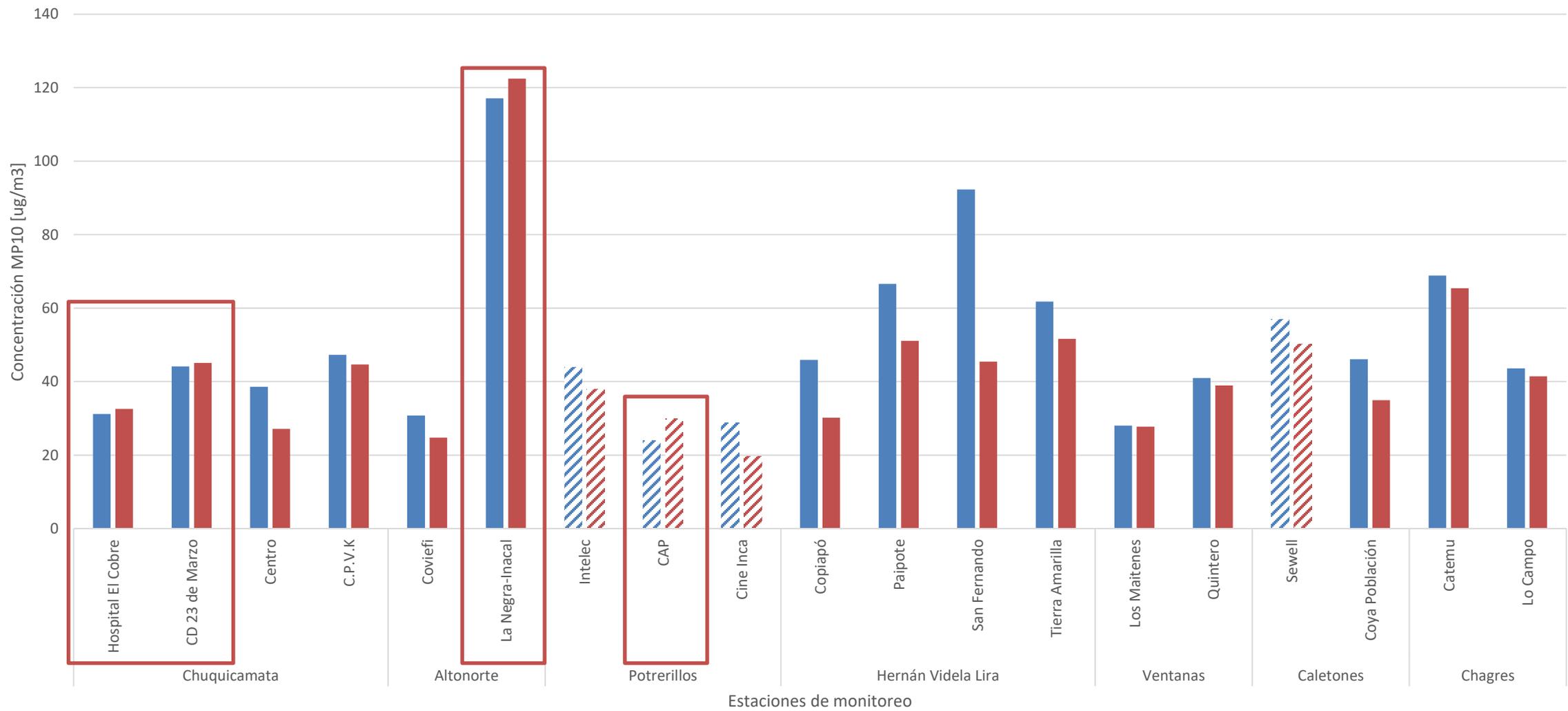


*Se excluye la estación Doña Inés ya que se escapa del orden de magnitud.

- Estación cercana a fundición, con representatividad de MP10
- ▨ Estación cercana a fundición, sin representatividad de MP10

Evolución de cambios de calidad del aire: MP10

000854



■ Estación cercana a fundición, representativa de MP10
 ▨ Estación cercana a fundición, no representativa de MP10

■ Media pre norma ■ Media post norma

Variación de la calidad del aire entre periodo pre y post norma ^{000854 vta}

Variaciones de las concentraciones de calidad del aire entre 3 años antes y 3 años después de la norma

Fundición	Localidad	As	SO2	MP
Chuquicamata ^a + Planta de tostación Ministro Hales	Calama	-81%	-88%	2%
Altonorte ^b	La Negra	-4%	-77%	5%
Potreriillos ^a	Salvador	-29%	-90%	-32%
HVL ^a	Copiapó	119%	35%	-23%
Ventanas ^b	Quintero	-43%	-24%	-5%
Chagres ^b	Catemu	32%	-61%	-5%
Caletones ^a	Coya	-68%	11%	-24%

- a. La norma entró en vigor en diciembre de 2018 para estas fundiciones
- b. La norma entró en vigor en diciembre de 2016 para estas fundiciones
- Nota: Se privilegió las estaciones de monitoreo con EMRP y registros para los tres contaminantes. En caso de que ninguna cumpliera estas condiciones, se seleccionaron estaciones según su ubicación cercana a la población. En particular se consideró: Calama: CD 23 de Marzo, SML, CD 23 de Marzo; Altonorte: Inacal, La Negra, Inacal; Potrerillos: Cine Inca, CAP, Cine Inca; HVL: Paipote; Ventanas: Quintero; Chagres: Catemu; Caletones: Coya Población

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.

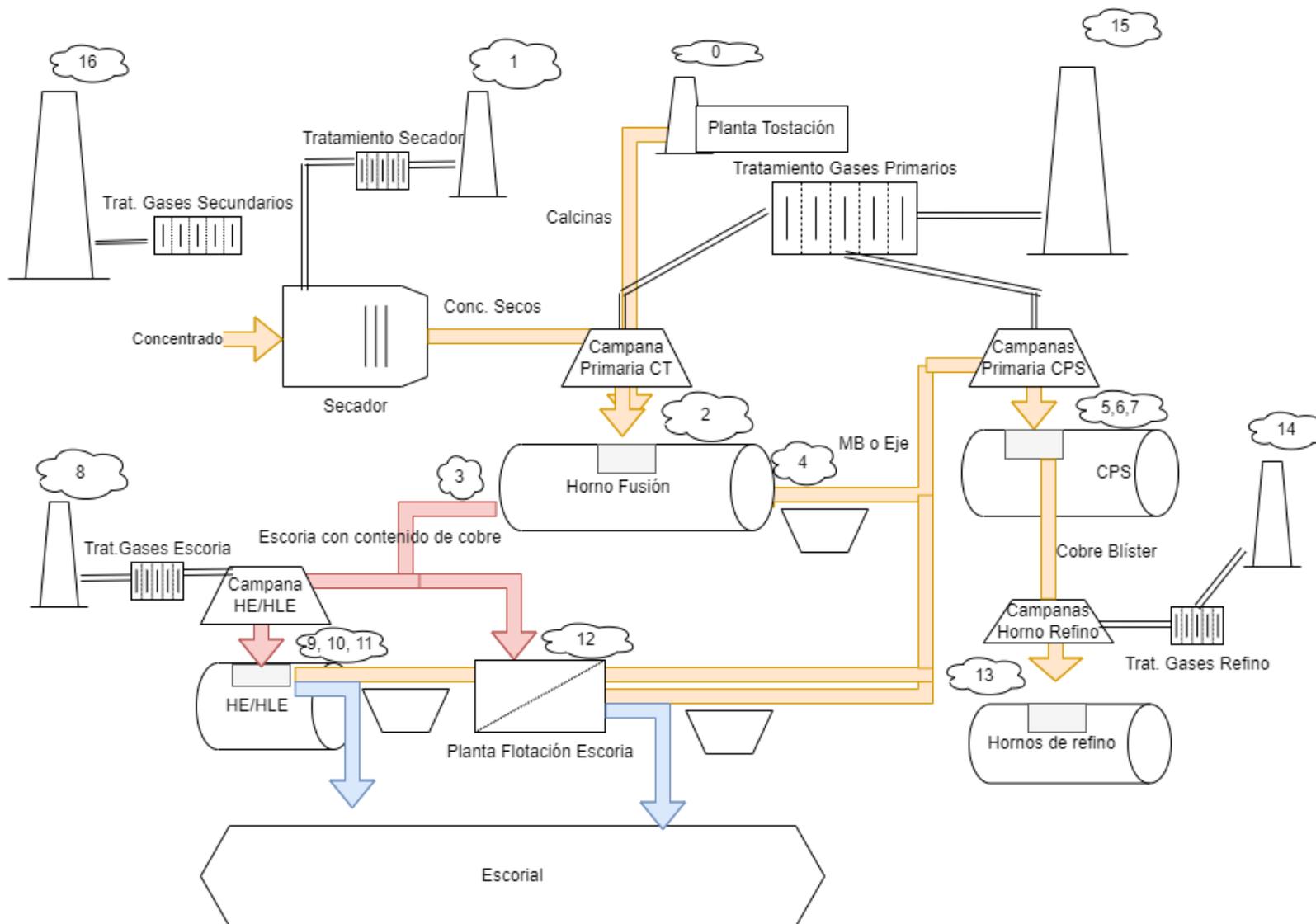
(2) As reportado para plantas de ácido y hornos de escoria

(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 su 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

000858

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 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.

Metodologías para la estimación de otros beneficios

☐ Identificación

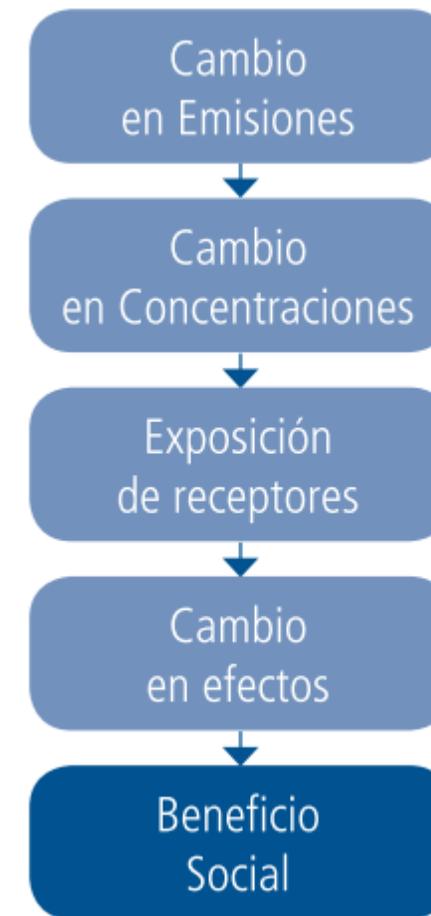
Tipo	As	Hg	MP	SO2
Salud	✓	✓	✓	✓
Visibilidad			✓	
Materiales			✓	✓
Ecosistemas acuáticos	✓	✓	✓	✓
Plantas y bosques	✓	✓	✓	✓
Efecto invernadero			✓ (BC)	

☐ Cuantificación: Salud

- $$\Delta E_{ij}^k = [\exp(\beta_{ij}^k * \Delta C^k) - 1] * Pobj_j^k * IR_{ij}$$

☐ Valoración

- Valor de la Vida Estadística (DEA)
- Costos unitarios directos e indirectos (GreenLab, 2020)



Beneficios unitarios monetizados de reducción de emisiones

000859 vta

Beneficios unitarios por contaminante y fundición al año 2035 [UF /t]

Fundición	MP	SO2	As	
			Emisión Difusa	Puntual
Fundición Chuquicamata	33.557	1.867	20	18
Fundición Altornorte	99.895	8	23	14
Fundición Potrerillos	2.373	0	0	0
Fundición HVL	592.311	133	669	237
Fundición Ventanas	1.466.722	10.660	60	21
Fundición Chagres	482.647	4	17	32
Fundición Caletones	237	0	0	0

ESCENARIOS DE ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA EXISTENTE

La investigación al servicio de una política pública sustentable



Escenarios de 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).

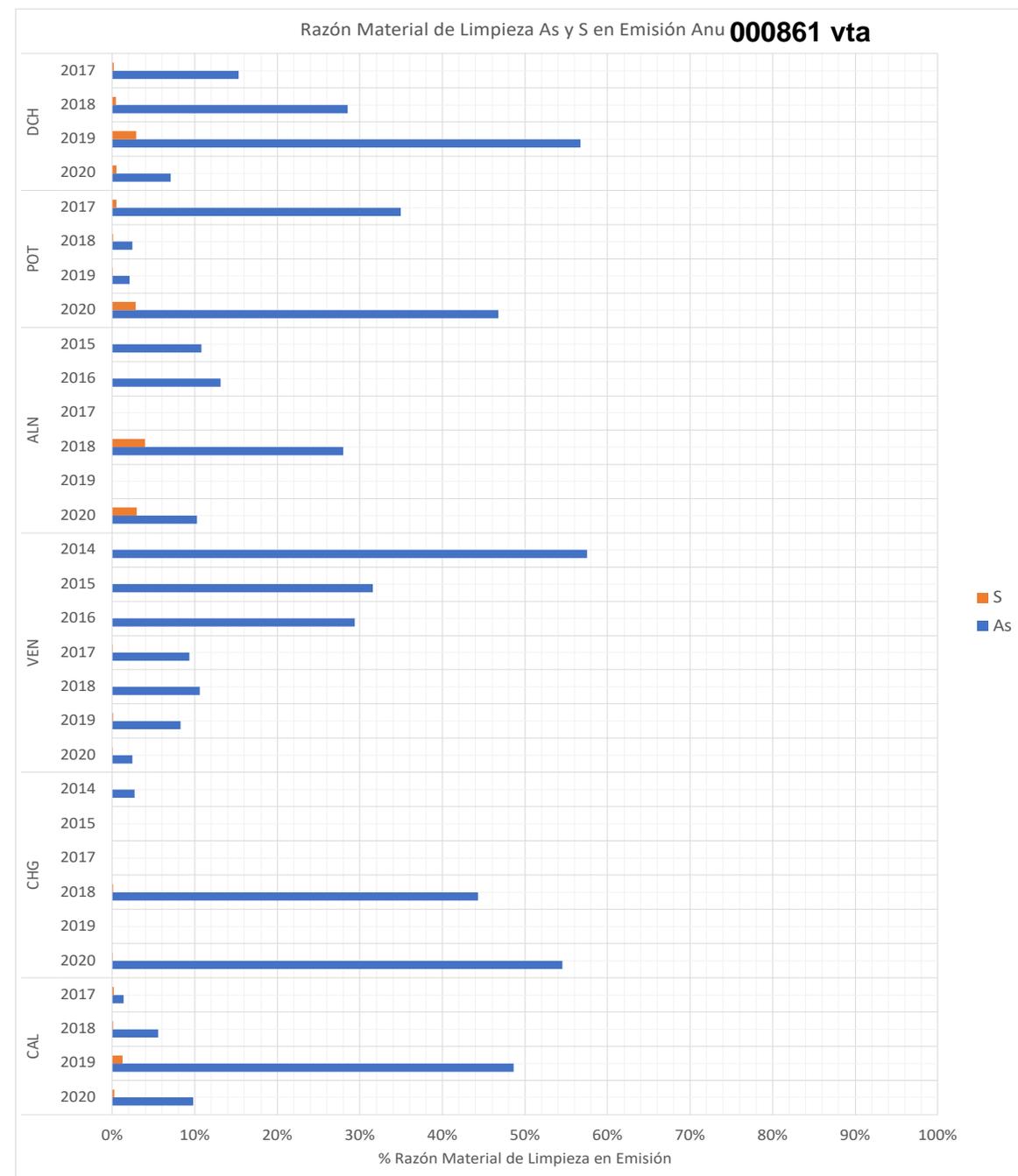
Escenarios de actualización de la norma existente

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	Emisión Anual	CH-29	Anual
	SO ₂	Fundiciones existentes	Balance anual	Balance anual	Balance Triannual	Balance Triannual	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
	As	Fundiciones existentes	1 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	0,8 mg/Nm3	CH-29	Mensual
		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	Fundiciones existentes	1 mg/Nm3	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	CH-29	Mensual
		Fuentes nuevas	1 mg/Nm3	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	1 mg/Nm3 (2)	CH-29	Mensual
	MP	Fundiciones existentes	50 mg/Nm3	50 mg/Nm3 (3)	50 mg/Nm3 (3)	50 mg/Nm3 (3)	CH-5	Mensual
		Fuentes nuevas	30 mg/Nm3	30 mg/Nm3 (4)	30 mg/Nm3 (4)	30 mg/Nm3 (4)	CH-5	Mensual
Hornos de refino	Opacidad	Todas	20%Ringelman	20%Ringelman	n.a.	n.a.		Mensual
	MP	Todas	n.a.	n.a.	5,8 mg/Nm3	5,8 mg/Nm3	CH-5	Mensual
Techo Reactor	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	1,95 kg/hr	CH-5	Anual
Techo CPS	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	0,77 kg/hr	CH-5	Anual
Techo Hornos de refino	MP	Todas	n.a.	n.a.	n.a.	0,73 kg/hr	CH-5	Anual
Reactor de fusión	MP10	Fuentes nuevas	n.a.	n.a.	n.a.	15 g/ton (5)	CEMS	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)	CH-5	Mensual
		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%



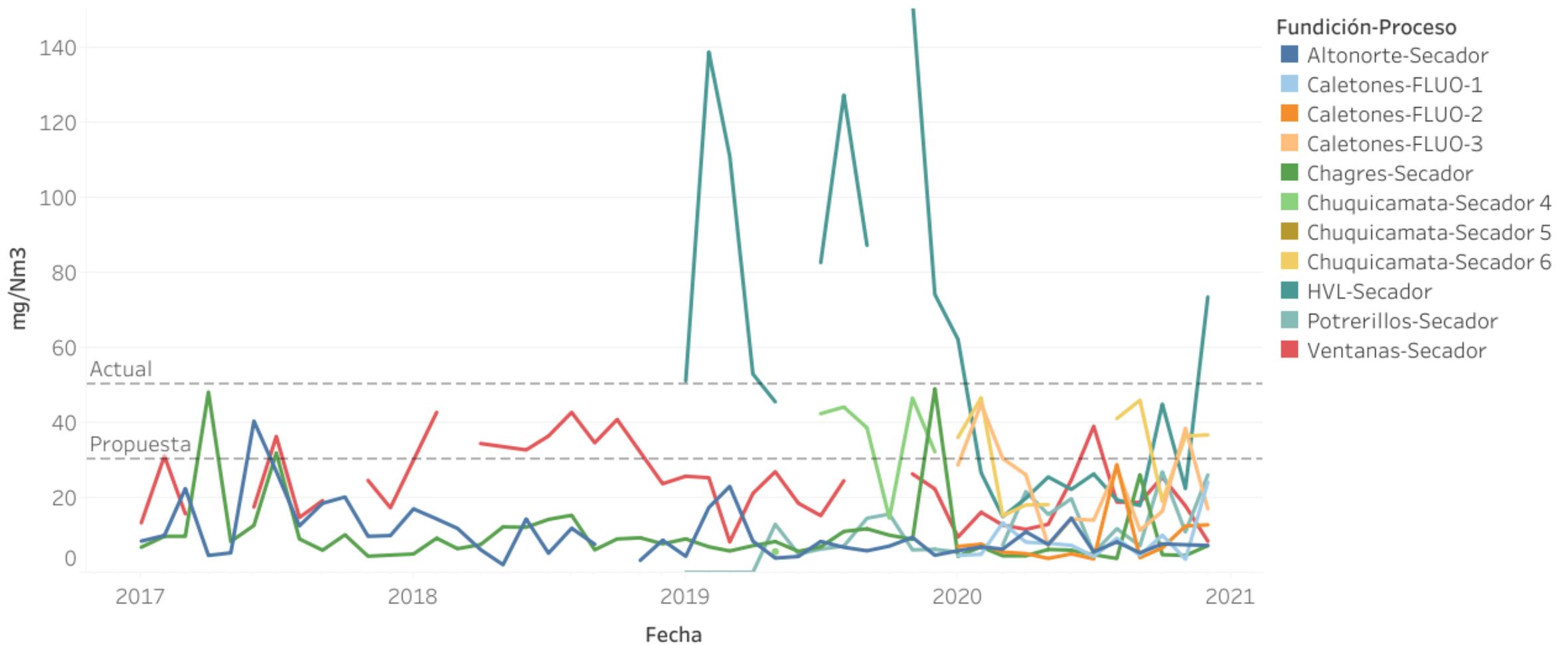
Propuesta de límite emisión anual y balance tri-anual

- 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]	Límite 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
Potrerosillos	24.400	172	424	141	157
Ventanas	14.650	53	130	43	48

Límite MP secadores

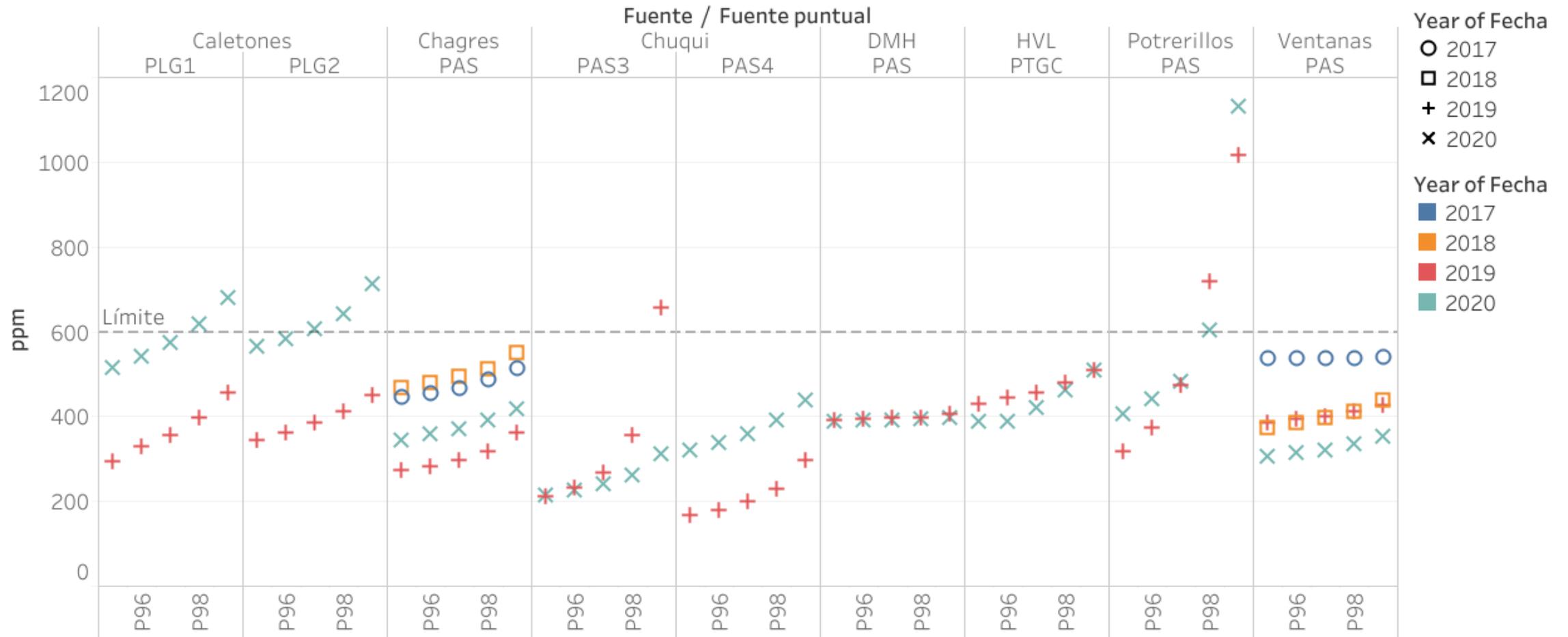
000862 vta



□ Límite propuesto sólo para Alternativa 3

Límite SO2 Plantas de ácido

000863

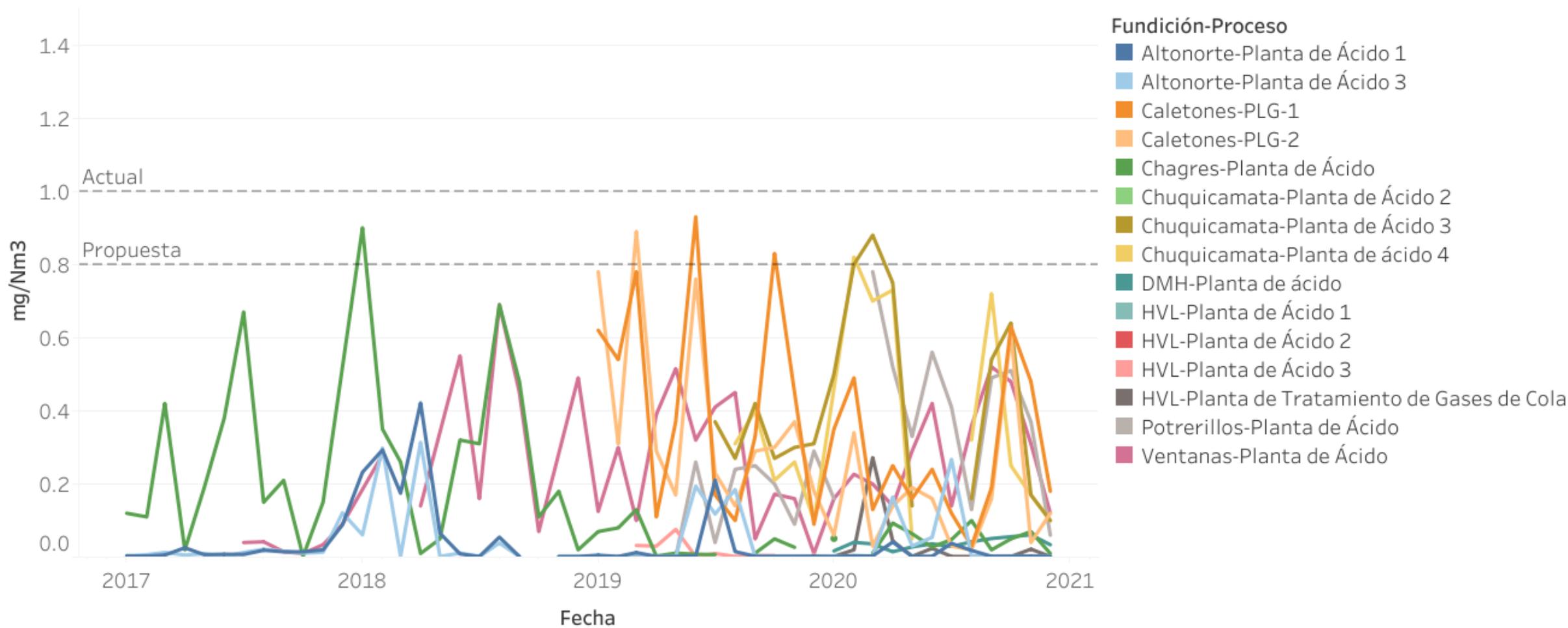


Límite de 600 es para todas las fuentes menos DMH que tiene un límite de 400 ppm

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

Límite As Plantas de ácido

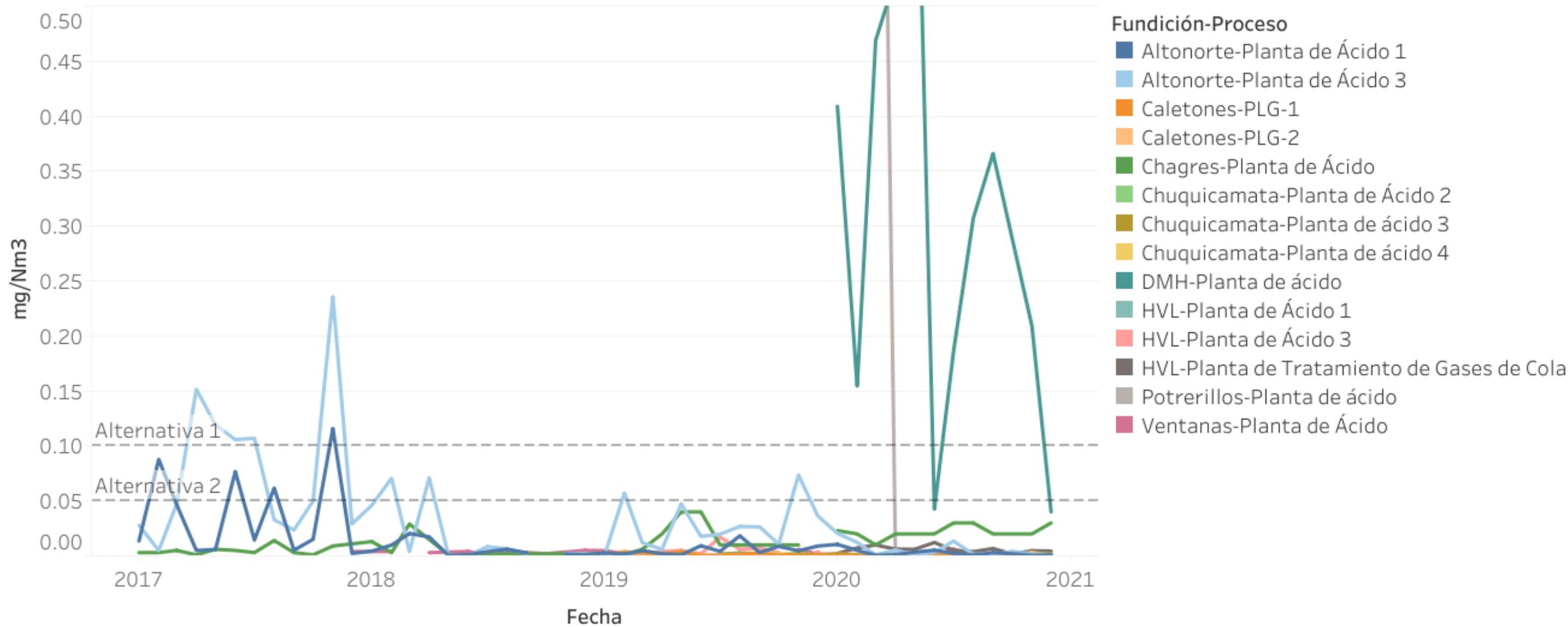
000863 vta



□ Límite propuesto desde Alternativa 1

Límite Hg Plantas de ácido

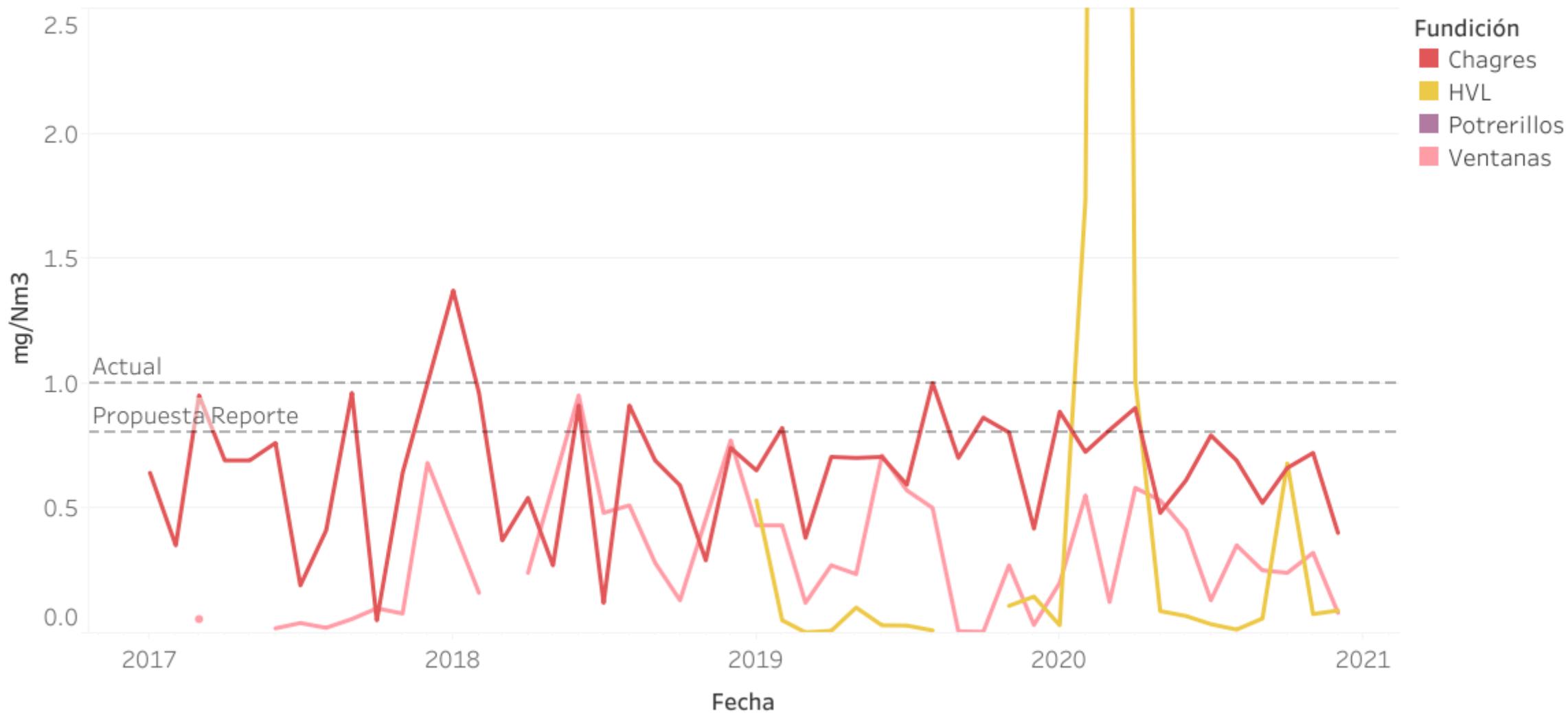
000864



□ 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

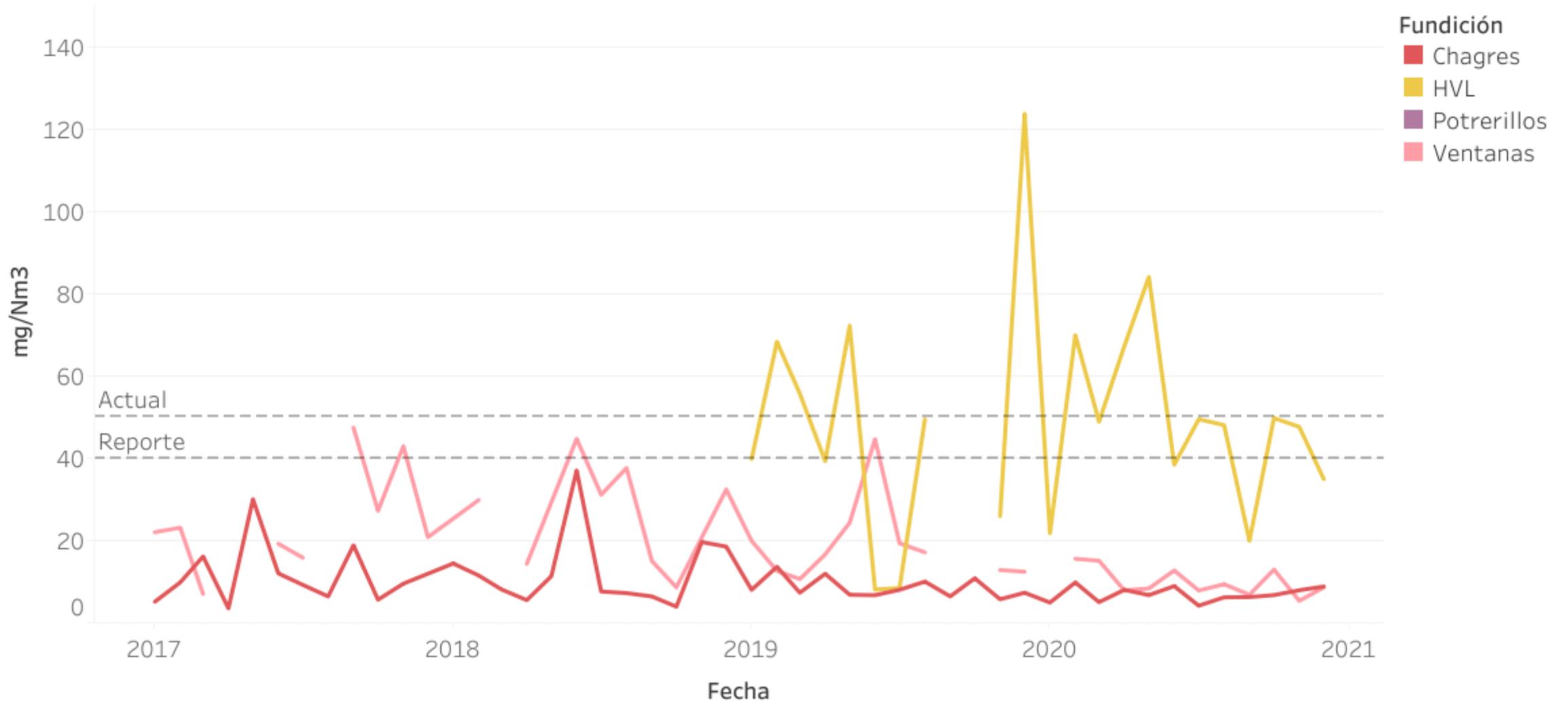
000864 vta



Propuesta de reporte desde alternativa 1

Propuesta reporte por MP en HELE/HE

000865



Propuesta de reporte desde alternativa 1

Propuesta limite MP en hornos de refino

000865 vta



Ventanas tiene datos semestrales y Chagres mensuales.

Propuesta de reporte desde alternativa 2



¿PREGUNTAS?



MUCHAS GRACIAS