

Comité Operativo Ampliado

Norma primaria de calidad del aire para arsénico

Presentación Comité Operativo Ampliado | **SESIÓN N°2/2022**
Miércoles 23 de noviembre, 2022

División de Calidad del Aire
Ministerio del Medio Ambiente



Objetivos reunión

Presentación de los resultados del “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”.





Informe Número

1579582

Original



**Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de
Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de
Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de
Arsénico**

ID Licitación: 608897-23-LP21

Autores:

Jefe de proyecto: Luis Cifuentes

Asesores expertos: Fabio Carrera (PUCV), Daniel Rebolledo (CITUC)

Equipo operativo: José Miguel Valdés, Viviana Cerda Gho, Valentina Morandé, Alejandro Bañados, Simón Burgos, Anne-Lise Bohaud Ausset, María Teresa Alarcón.

Dictuc S.A.

Estudio finalizó el 17 de junio de 2022



Tabla sesión

- **Primera presentación:** Presentación sobre la caracterización de efectos adversos en salud asociados a la exposición de arsénico en el aire.

Expositor: Daniel Rebolledo - CITUC.

- **Segunda presentación:** (1) Revisión de Normativa internacional y escenarios regulatorios propuestos, (2) Resultados preliminares de Costos y Beneficios de escenarios regulatorios propuestos.

Expositor: Luis Cifuentes – Greenlab DICTUC



Próximas Reuniones

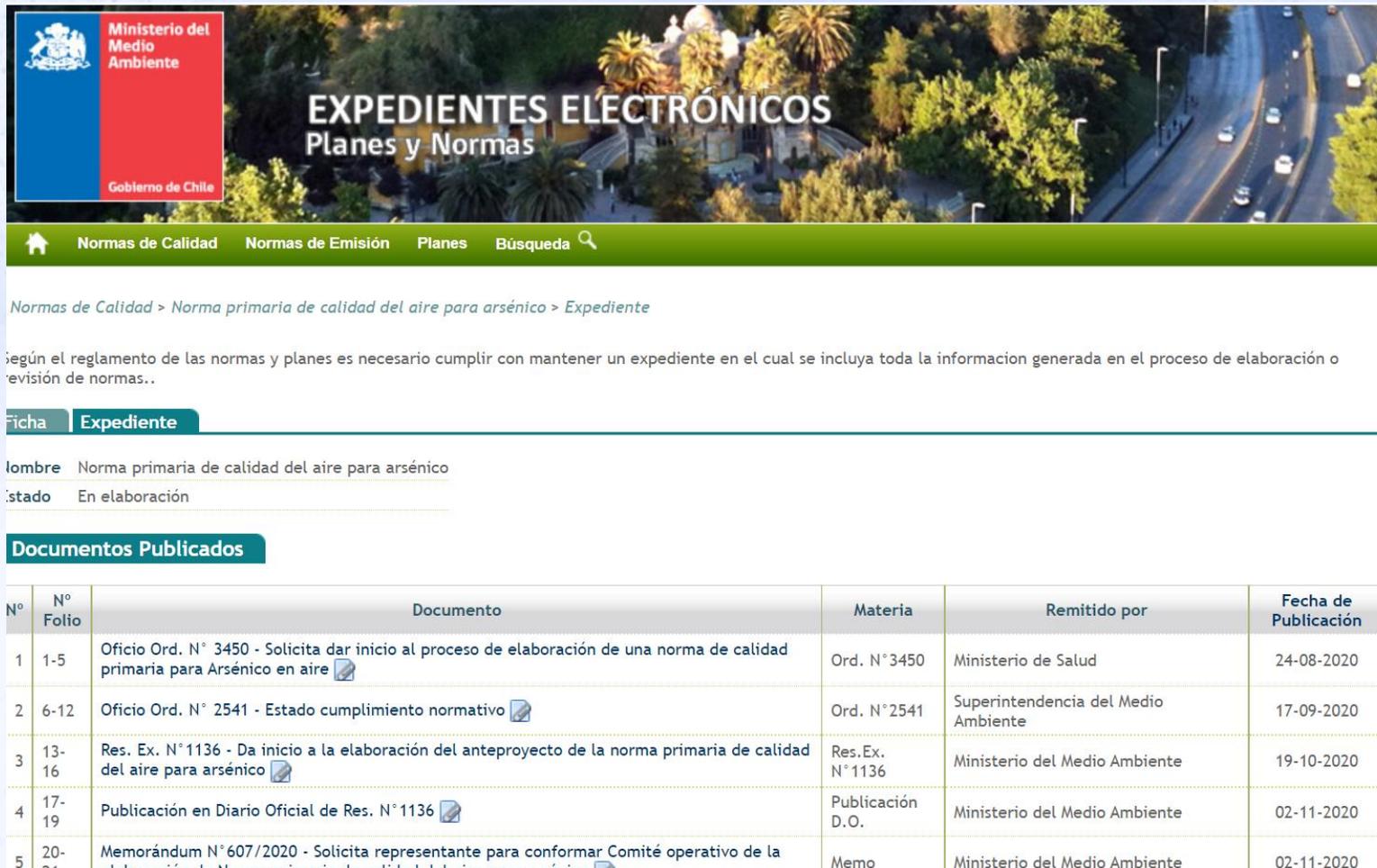
Actividad	Objetivos	Fecha tentativa
3° reunión C.O.A.	(1) Presentación de borrador de Anteproyecto de Norma	14 de diciembre
	(2) Resultados preliminares del AGIES	
4° reunión C.O.	(1) Presentación de Anteproyecto de Norma	16 de marzo
	(3) Resultados del AGIES	



Expediente electrónico

793

https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=937833



Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

EXPEDIENTES ELECTRÓNICOS

Planes y Normas

Normas de Calidad | Normas de Emisión | Planes | Búsqueda

Normas de Calidad > Norma primaria de calidad del aire para arsénico > Expediente

Según el reglamento de las normas y planes es necesario cumplir con mantener un expediente en el cual se incluya toda la información generada en el proceso de elaboración o revisión de normas..

Ficha | **Expediente**

Nombre: Norma primaria de calidad del aire para arsénico
Estado: En elaboración

Documentos Publicados

Nº	Nº Folio	Documento	Materia	Remitido por	Fecha de Publicación
1	1-5	Oficio Ord. N° 3450 - Solicita dar inicio al proceso de elaboración de una norma de calidad primaria para Arsénico en aire	Ord. N° 3450	Ministerio de Salud	24-08-2020
2	6-12	Oficio Ord. N° 2541 - Estado cumplimiento normativo	Ord. N° 2541	Superintendencia del Medio Ambiente	17-09-2020
3	13-16	Res. Ex. N° 1136 - Da inicio a la elaboración del anteproyecto de la norma primaria de calidad del aire para arsénico	Res.Ex. N° 1136	Ministerio del Medio Ambiente	19-10-2020
4	17-19	Publicación en Diario Oficial de Res. N° 1136	Publicación D.O.	Ministerio del Medio Ambiente	02-11-2020
5	20-24	Memorándum N° 607/2020 - Solicita representante para conformar Comité operativo de la elaboración de Norma primaria de calidad del aire para arsénico	Memo	Ministerio del Medio Ambiente	02-11-2020



Presentación integrantes del COA





FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA 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”**

ID Licitación: 608897-23-LP21

Daniel Eduardo Rebolledo Fuentes

Coordinador de Proyectos de Investigación



Tabla de contenidos

Presentación resultados del “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”, para dar cumplimiento a literales a, c, d y e, del artículo 24, del D.S. N°38, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba Reglamento para la dictación de Normas de Calidad y de Emisión.



FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

Identificación y caracterización del arsénico, cuya presencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la vida o la salud de la población

Literal a, artículo 24, D.S. N°38, de 2012, MMA

Arsénico: Generalidades

- Tóxico reconocido
- Formas químicas inorgánicas más tóxicas que las orgánicas.
- Afecta la mayoría de los procesos celulares y funciones de los órganos humanos.
- Formas químicas reducidas (As III) > tóxicas que las formas oxidadas (As V).
- En el cuerpo se distribuye ampliamente en la piel, pulmones, hígado, y riñones.



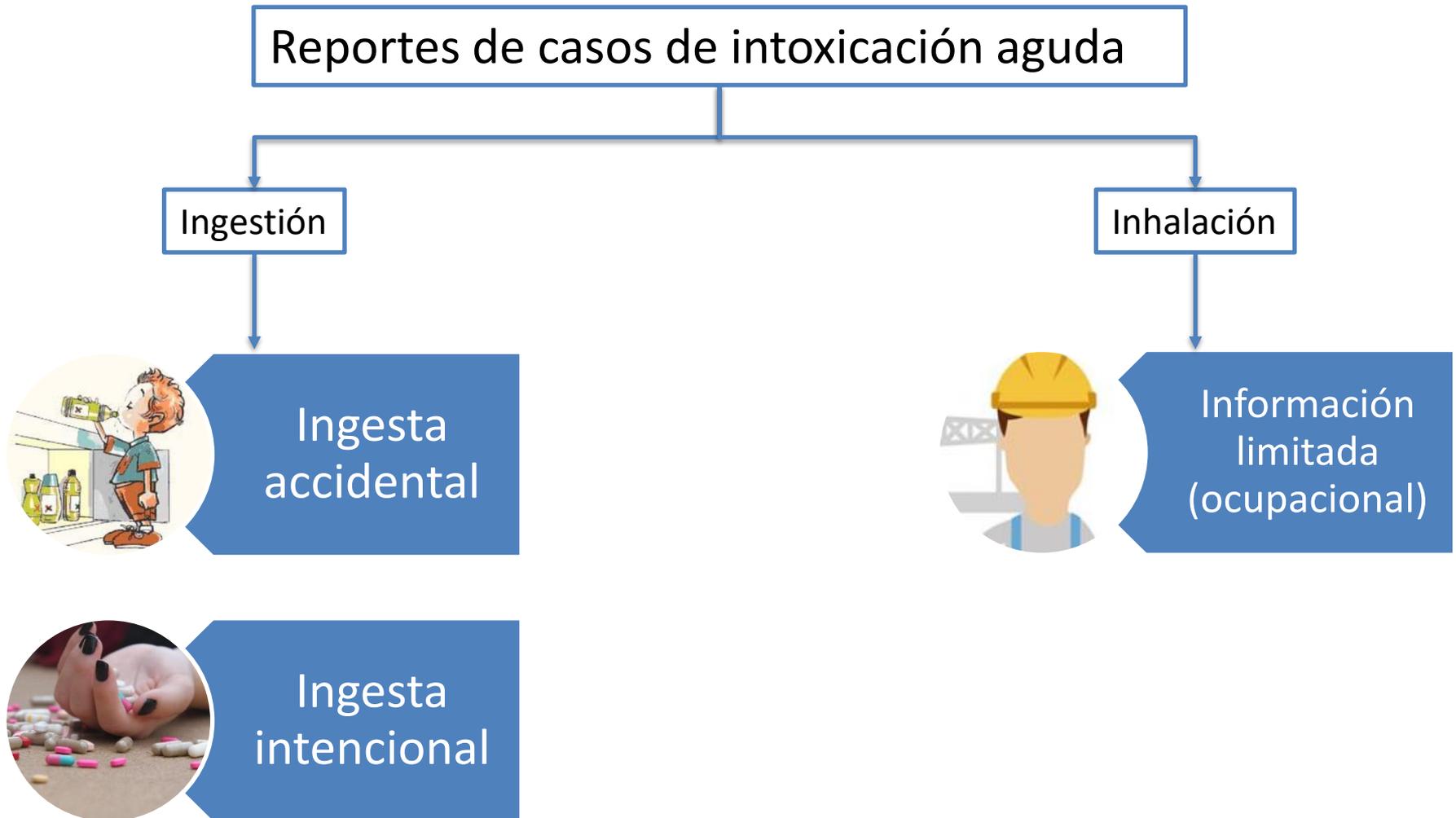
FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

799

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

Literal c, artículo 24, D.S. N°38, de 2012, MMA

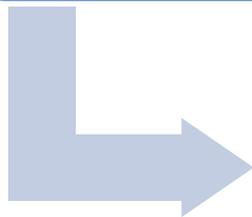
Información toxicológica



Efectos en salud y coeficientes de riesgo

- Caracterización de efectos adversos en salud asociados a la exposición de arsénico en el aire (Acápite 4.1 N.C.)

Perfil toxicológico
del As y formas
químicas
disponibles



Fuentes de
información

- Micromedex®
- RightAnswer®
- Pubmed
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)

Efectos agudos

Órgano/sistema	Arsénico inorgánico	Trióxido de arsénico	Tricloruro de arsénico	Pentóxido de arsénico	Arsina
	Cas: 7440-38-2	Cas: 1327-53-3	Cas: 7784-34-1	Cas: 1303-28-2	Cas: 7784-42-1
Nervioso	Coma, encefalopatía tóxica, neuropatía, tetraplejía, convulsiones, amnesia	Encefalopatía tóxica, neuropatía, temblor, coma, convulsiones, mareos, dolor de cabeza, neuropatía periférica, pseudo tumor cerebral, fatiga	Encefalopatía tóxica, neuropatía periférica secundaria,	Encefalopatía tóxica, neuropatía, convulsiones	Jaqueca
Respiratorio	Apnea, lesión pulmonar, bronquitis	Insuficiencia respiratoria aguda, lesión pulmonar aguda, síndrome de distrés respiratorio agudo, disnea, sangrado de nariz, tos, hipoxia, derrame pleural, neumonitis	Edema de laringe, síntoma de irritación de membranas mucosas de nariz y garganta, lesión pulmonar aguda, apnea, lesión pulmonar aguda,	Tos, apnea, lesión pulmonar aguda, síndrome de distrés respiratorio agudo	Insuficiencia respiratoria aguda, derrame pleural
Cardiovascular	Arritmia cardíaca, hipotensión	Taquicardia ventricular, torsade de pointes, hipotensión, cardiomiopatía, arritmia cardíaca, bradicardia, intervalo QT prolongado, edema	Arritmia cardíaca	Arritmia cardíaca, hipovolemia por filtración capilar, hipotensión	Arritmia cardíaca, hipotensión

Efectos agudos

Órgano/sistema	Arsénico inorgánico Cas: 7440-38-2	Trióxido de arsénico Cas: 1327-53-3	Tricloruro de arsénico Cas: 7784-34-1	Pentóxido de arsénico Cas: 1303-28-2	Arsina Cas: 7784-42-1
Circulatorio	Hemólisis, pancitopenia, anemia, leucopenia, coagulación intravascular diseminada	Hemólisis, pancitopenia, leucocitosis, mielo supresión, anomalías de la coagulación, anemia,	Hemólisis, pancitopenia,	Hemólisis, pancitopenia, anemia, coagulación intravascular diseminada	Hemólisis, leucocitosis
Endocrino	Hiperglicemia	Hiperglicemia	Sin información	Hiperglicemia	Sin información
Hepático	Daño hepático, enzimas hepáticas anormales. Falla hepática	Daño hepático, enzimas hepáticas aumentadas, lesión de hígado	Daño hepático	Daño hepático	Ictericia, enzimas hepáticas aumentada, hepatomegalia
Renal	Falla renal	Falla renal, nefrotoxicidad,	Falla renal	Falla renal	Falla renal
Reproductivo y del desarrollo	Efectos en el embarazo: nacimiento de un bebé muerto, trastornos del embarazo	Efectos en el embarazo: muerte neonatal, muerte fetal,	Efectos en el embarazo: muerte neonatal	Efectos en el embarazo: muerte neonatal, encefalopatía, incremento abortos espontáneos, toxicidad fetal	Sin información

Efectos agudos

Órgano/sistema	Arsénico inorgánico Cas: 7440-38-2	Trióxido de arsénico Cas: 1327-53-3	Tricloruro de arsénico Cas: 7784-34-1	Pentóxido de arsénico Cas: 1303-28-2	Arsina Cas: 7784-42-1
Dermatológico	Líneas de mees, herpes, quemaduras (prurito, Rush cutáneo)	Trastornos dérmicos (rubor, diaforesis, hiperqueratosis palmar, edema periférico y dermatitis exfoliativa), piel seca, prurito, dermatitis de contacto, líneas de mees	Irritación cutánea, erupción bulbosa, envenenamiento, dermatitis (rubor, diaforesis, hiperqueratosis palmar, edema periférico y dermatitis exfoliativa), línea de mees.	Dermatitis.	Sin información
Gastrointestinal	Gastroenteritis	Dolor abdominal, vómitos, diarrea acuosa o sanguinolenta, debilidad y enrojecimiento de la piel	Irritación gastrointestinal, hemorragia gastrointestinal, gastroenteritis	Gastroenteritis, sabor a ajo	Náuseas y vómitos, pérdida de apetito, dolor abdominal
Otros efectos	Deshidratación, hipocalcemia	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información

Efectos crónicos no carcinogénicos

Órgano/sistema	Arsénico inorgánico	Trióxido de arsénico	Tricloruro de arsénico	Pentóxido de arsénico	Arsina
	Cas: 7440-38-2	Cas: 1327-53-3	Cas: 7784-34-1	Cas: 1303-28-2	Cas: 7784-42-1
Nervioso	Encefalopatía tóxica, comportamiento anormal, neuropatía, enfermedad cerebrovascular, nistagmo, deterioro cognitivo, perturbación en el pensamiento,	Sin información	Sin información	neuropatía	Sin información
Respiratorio	Bronquitis asmática, irritación de las membranas mucosas, lesión del sistema respiratorio, bronquiectasias	Sin información	Sin información		Sin información
Cardiovascular	Miocarditis, isquemia, hipertensión, infarto al miocardio	Sin información	Sin información	Miocarditis, isquemia, incremento de presión arterial, infarto al miocardio	Sin información

Efectos crónicos no carcinogénicos

Órgano/sistema	Arsénico inorgánico Cas: 7440-38-2	Trióxido de arsénico Cas: 1327-53-3	Tricloruro de arsénico Cas: 7784-34-1	Pentóxido de arsénico Cas: 1303-28-2	Arsina Cas: 7784-42-1
Circulatorio	Anemia hemolítica, pancitopenia, anemia, macrocitosis	Sin información	Pancitopenia	Pancitopenia, anemia, macrocitosis	Sin información
Endocrino	Diabetes mellitus	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información
Hepático	Daño hepático	Sin información	Sin información	Daño hepático	Sin información
Reproductivo y del desarrollo	Efectos en el embarazo (aborto espontáneo, muerte fetal, mortalidad neonatal y mortalidad infantil, así como una reducción significativa del peso al nacer). Disfunción eréctil	Efectos en el embarazo (muerte fetal, mortalidad neonatal), deterioro de la fertilidad masculina	Efectos en el embarazo (aborto espontáneo, muerte fetal, mortalidad neonatal y mortalidad infantil, así como una reducción significativa del peso al nacer)	Disfunción eréctil	Sin información
Dermatológico	Alopecia	Sin información	Dermatitis (rubor, diaforesis, hiperqueratosis palmar, edema periférico, hiperpigmentación y dermatitis exfoliativa)	Sin información	Sin información

Efectos crónicos carcinogénicos

Órgano/sistema afectado	Arsénico inorgánico	Trióxido de arsénico	Tricloruro de arsénico	Pentóxido de arsénico	Arsina
	Cas: 7440-38-2	Cas: 1327-53-3	Cas: 7784-34-1	Cas: 1303-28-2	Cas: 7784-42-1
Respiratorio	Cáncer de pulmón	Cáncer de pulmón	Mayor riesgo de cáncer de pulmón.	Cáncer de pulmón	Sin información
Renal	Cáncer de vejiga, de riñón	Cáncer de vejiga, de riñón	Cáncer de vejiga, de riñón	Cáncer de vejiga, de riñón	Sin información
Hepático	Angiosarcoma hepático (*)	Angiosarcoma hepático (*)	Angiosarcoma hepático (*)	Angiosarcoma hepático (*)	Sin información
Dermatológico	Cáncer de pie de tipo no melanoma.	Cáncer de pie de tipo no melanoma.	Cáncer de pie de tipo no melanoma.	Cáncer de pie de tipo no melanoma.	Sin información
Otros órganos/sistemas afectados	Ganglios linfáticos, médula ósea, próstata (*)	Ganglios linfáticos, médula ósea, próstata, genotóxico (mutación en leucocitos)	Parece ser mutagénico	próstata(*)	Carcinoma

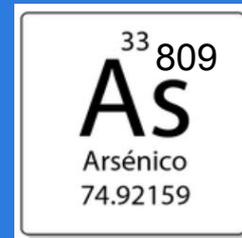


FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

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

Literal d, artículo 24, D.S. N°38, de 2012, MMA

Arsénico: Generalidades



Origen

- natural

Clasificación química

- Metaloide

En el medio ambiente

- Forma inorgánica → O₂, Cl y 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

Arsénico: Generalidades



Origen

- natural

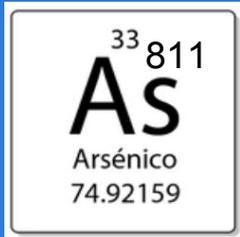


Clasificación química

- Metaloide

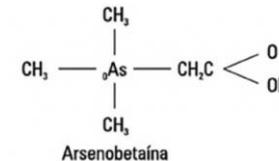
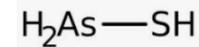
1	H																	He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Arsénico: Generalidades



En el medio ambiente

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



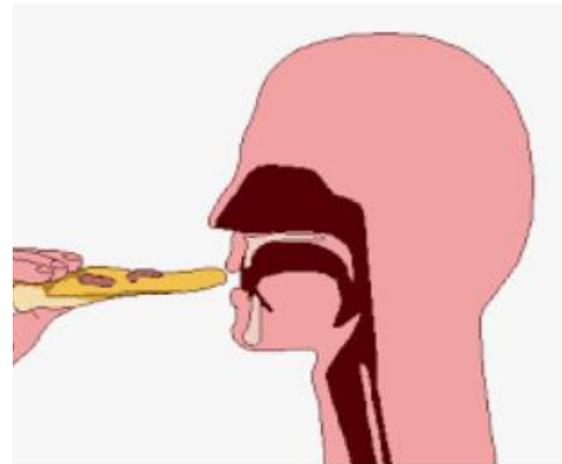
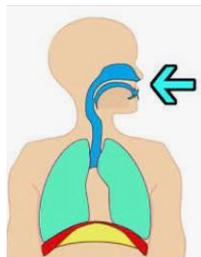
Emisiones atmosféricas:

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



Rutas de exposición

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





FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

Describir los efectos independientes, aditivos, acumulativos, sinérgicos o inhibidores del arsénico

Literal e, artículo 24, D.S. N°38, de 2012, MMA

Efectos As

- El arsénico afecta a casi todos los procesos celulares y 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, tanto que éstas no se ven en ambientes comunitarios sino solamente en exposiciones ocupacionales y que pueden producir daños en los órganos que pueden provocar la muerte.
- Estudios de exposición ocupacional han mostrado una clara correlación entre la exposición al arsénico inorgánico y la mortalidad por cáncer de pulmón (efecto crítico), motivo por el cual múltiples organizaciones los han clasificado como carcinógeno en humanos.
- El efecto crítico a la salud por la exposición al arsénico en el aire es el cáncer de pulmón, y su caracterización se realiza mediante la estimación del riesgo incremental de cáncer que corresponde al 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) para las sustancias cancerígenas por la vía de inhalación, se lleva a cabo usando las concentraciones en el aire de la sustancia cancerígena y el criterio de toxicidad que en este caso corresponde el Riesgo Unitario Inhalatorio.

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

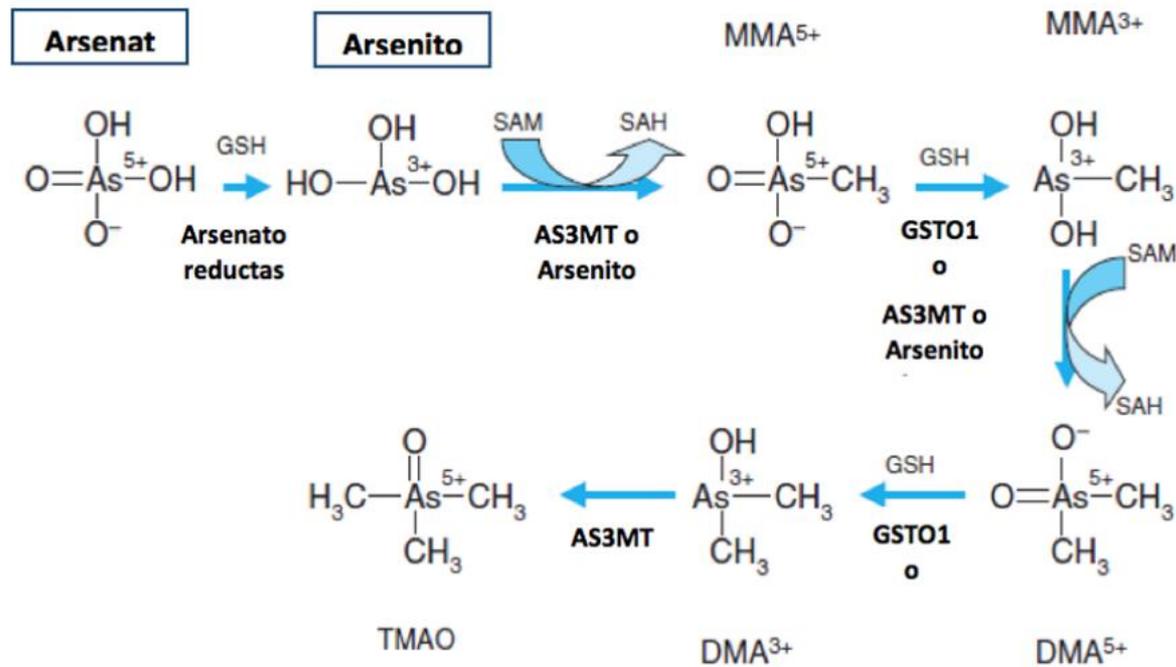
criterio de toxicidad Inhalation Unit Risk (IUR) (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 1.000.000 (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 100.000 (ng/m ³)	Concentración asociada con riesgo de 1 en 10.000 (ng/m ³)	Efecto crítico	Fuente
4,3	0,2	2,3	23,3	Cáncer pulmonar	(USEPA, 2011)
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)

Metabolismo

Principal ruta
metabólica

- Hígado
- Reducción de As V a As III
- Metilación por acción enzimática (bioactivación): metabolitos metilados ácido monometilarsónico (MMA) y ácido dimetilarsónico (DMA))

Metabolismo del arsénico



Fuente: <https://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaT%C3%A9cnica%20N%C2%B020024%20Exposici%C3%B3n%20Laboral%20a%20Ars%C3%A9nico.pdf>



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 Ampliado de la NPCA para arsénico

23 Nov 2022

Antecedentes

- Esta presentación corresponde al trabajo realizado en estudio “Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico”, ID Licitación: 608897-23-LP21, solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente y finalizado en 2022
- Institución Ejecutora: Greenlab, Unidad de Gestión y Política Ambiental de DICTUC, Filian de la Pontificia Universidad Católica de Chile
- El equipo de trabajo es el siguiente:
 - Jefe de proyecto: Luis Abdon Cifuentes
 - Asesores expertos: Fabio Carrera (PUCV), Daniel Rebolledo (CITUC)
 - Equipo operativo: José Miguel Valdés, Viviana Cerda Gho, Valentina Morandé, Alejandro Bañados, Simón Burgos, Anne-Lise Bohaud Ausset, María Teresa Alarcón.

Objetivos

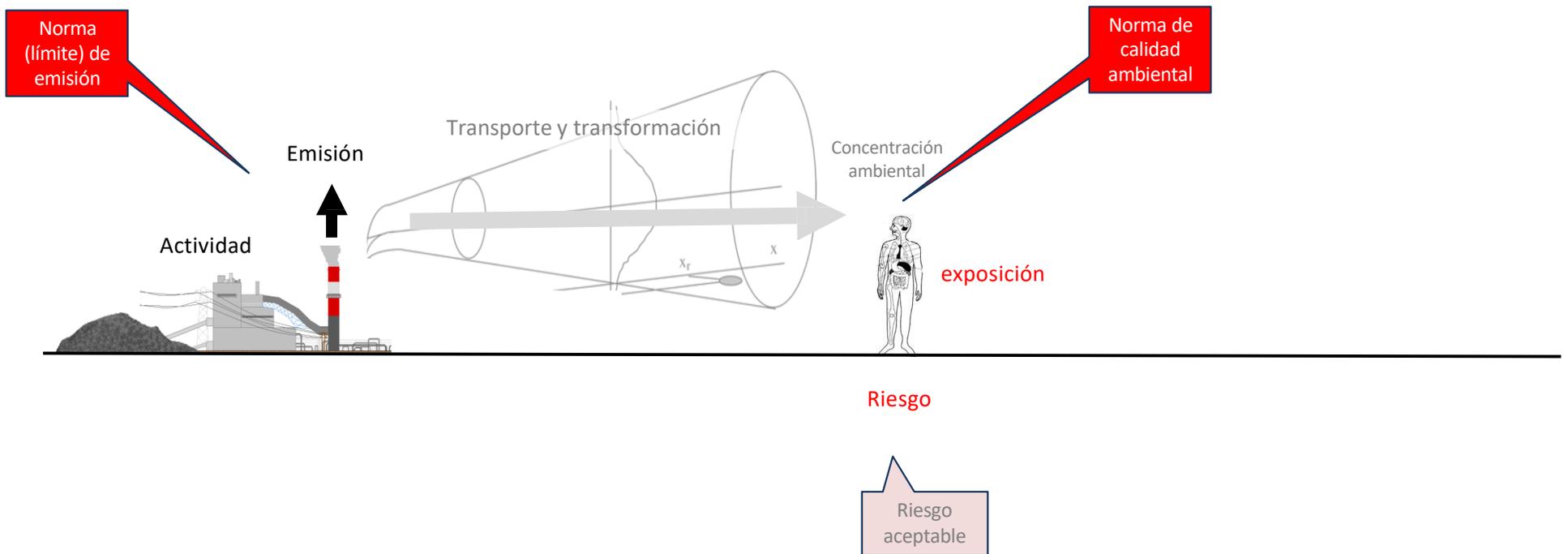
□ General:

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:

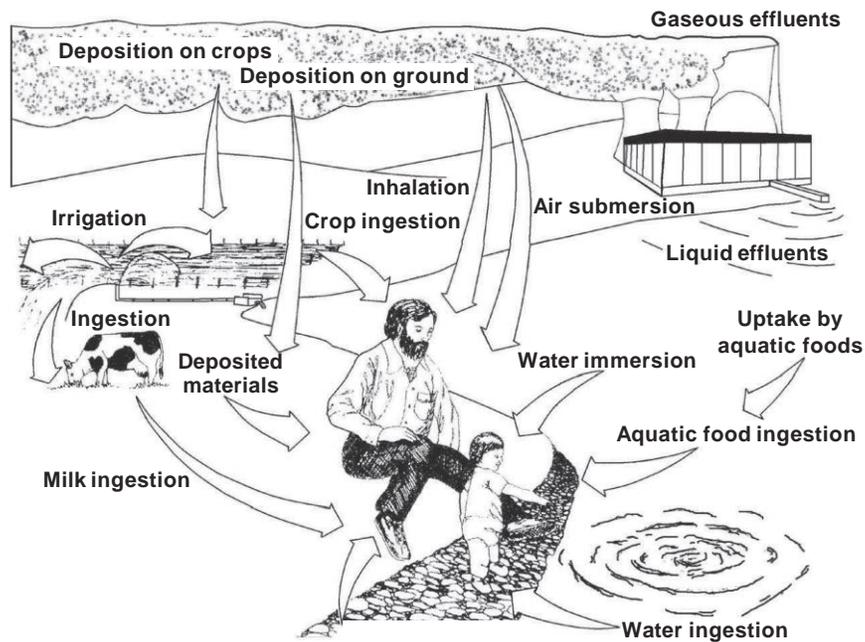
- a) Obtener antecedentes para la **Norma Primaria de Calidad del Aire** para Arsénico.
- b) Revisión de la **Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre** y Fuentes Emisoras de Arsénico.

Regulación: ¿Actividad, emisión, transporte, exposición o riesgo?



La exposición y el riesgo se producen a través de múltiples rutas

emisión



$Riesgo = (\text{Exposición}(\text{fuentes}))$
rutas

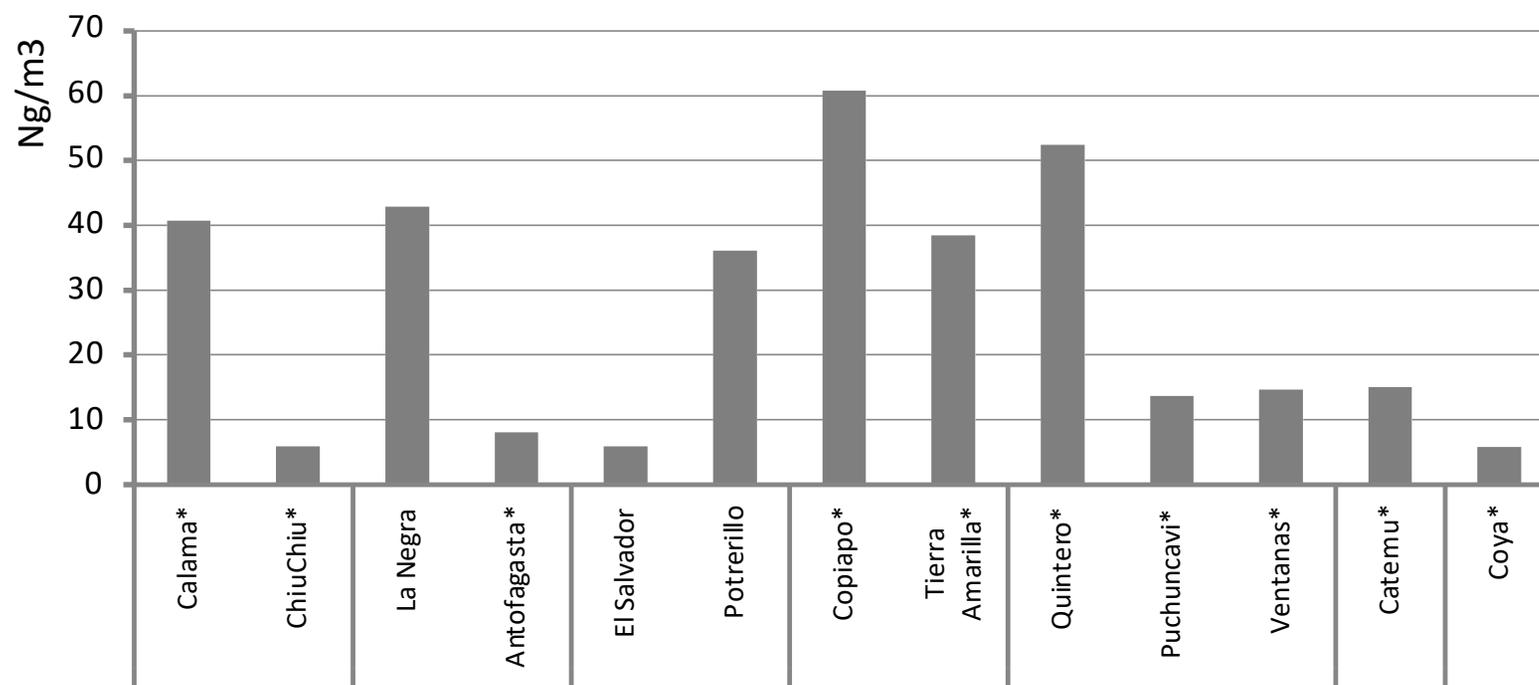
ANTECEDENTES: CONCENTRACIONES DE AS EN CHILE Y EFECTOS EN LA SALUD DEL ARSÉNICO

La investigación al servicio de una política pública sustentable



13

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



*Promedio: Promedio ponderado por población de cada localidad.

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, de ~ 5 categorías)**.
- El riesgo incremental de cáncer corresponde al incremento en la probabilidad de un individuo de desarrollar cáncer por la exposición a un compuesto cancerígeno.

Arsénico inorgánico

Clasificación y Riesgo Unitario

US EPA

Tumor Sites



Dermal



Respiratory

Cancer Assessment

[Weight of Evidence for Cancer \(PDF\)](#) (29 pp, 186 K)

last updated: 06/01/1995

WOE Characterization	Framework for WOE Characterization
A (Human carcinogen)	Guidelines for Carcinogen Risk Assessment (U.S. EPA, 1986)

Basis:

- Based on sufficient evidence from human data. An increased lung cancer mortality was observed in multiple human populations exposed primarily through inhalation. Also, increased mortality from multiple internal organ cancers (liver, kidney, lung, and bladder) and an increased incidence of skin cancer were observed in populations consuming drinking water high in inorganic arsenic.
- This may be a synopsis of the full weight-of-evidence narrative.

[Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure \(PDF\)](#) (29 pp, 186 K)

Oral Slope Factor: 1.5 per mg/kg-day

Drinking Water Unit Risk: 5×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{L}$

Extrapolation Method: Time- and dose-related formulation of the multistage model

Tumor site(s): Dermal

Tumor type(s): Skin cancer (Tseng, 1977; Tseng et al., 1968; U.S. EPA, 1988)

[Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure \(PDF\)](#)

(29 pp, 186 K)

Inhalation Unit Risk: 4.3×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Extrapolation Method: Absolute-risk linear model

Tumor site(s): Respiratory

Tumor type(s): Lung cancer (Brown and Chu, 1983a,b,c; Lee-Feldstein, 1983; Higgins, 1982; Enterline and Marsh, 1982)

Cancer Assessment

Peso de la evidencia

[Weight of Evidence for Cancer \(PDF\)](#) (29 pp, 186 K)

last updated: 06/01/1995

WOE Characterization	Framework for WOE Characterization
A (Human carcinogen)	Guidelines for Carcinogen Risk Assessment (US EPA, 1986)

Clasificación

Basis:

- Based on sufficient evidence from human data. An increased lung cancer mortality was observed in multiple human populations exposed primarily through inhalation. Also, increased mortality from multiple internal organ cancers (liver, kidney, lung, and bladder) and an increased incidence of skin cancer were observed in populations consuming drinking water high in inorganic arsenic.
- This may be a synopsis of the full weight-of-evidence narrative.

Riesgo por
exposición oral

[Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure \(PDF\)](#) (29 pp, 186 K)

Oral Slope Factor: 1.5 per mg/kg-day

Drinking Water Unit Risk: 5×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{L}$

Extrapolation Method: Time- and dose-related formulation of the multistage model

Tumor site(s): Dermal

Tumor type(s): Skin cancer (Tseng, 1977; Tseng et al., 1968; U.S. EPA, 1988)

Riesgo por exposición
inhalación

[Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure \(PDF\)](#) (29 pp, 186 K)

Inhalation Unit Risk: 4.3×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Extrapolation Method: Absolute-risk linear model

Tumor site(s): Respiratory

Tumor type(s): Lung cancer (Brown and Chu, 1983a,b,c; Lee-Feldstein, 1983; Higgins, 1982; Enterline and Marsh, 1982)

table

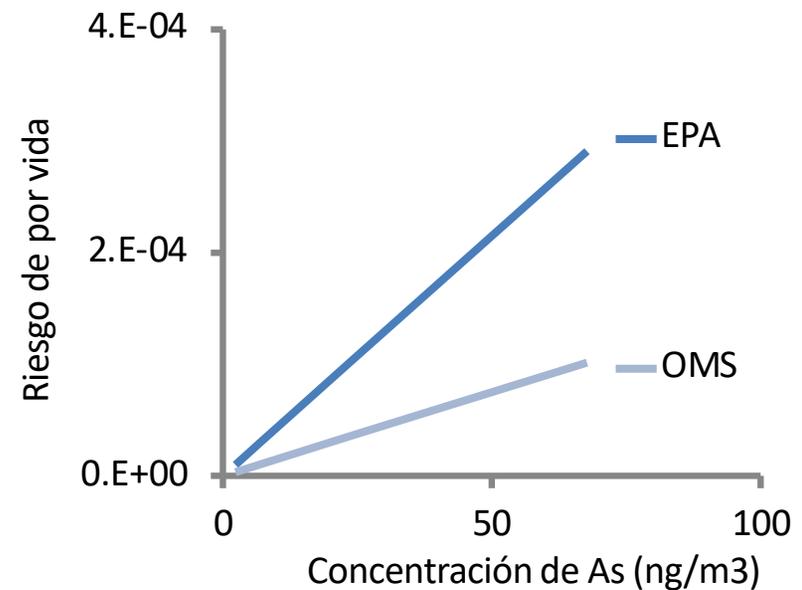
Clasificación de Carcinógenos (EPA 1986, 2005)

Evaluación Cualitativa: Descriptores de Peso de la Evidencia	
<p>Todas las evaluaciones posteriores a 2005</p> <p>2005 Guidelines for Carcinogen Risk Assessment</p> <p>Categorías</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Carcinogenic to Humans 2. Likely to Be Carcinogenic to Humans 3. Suggestive Evidence for Carcinogenic Potential 4. Inadequate Evidence to Assess Carcinogenic Potential 5. Not Likely to Be Carcinogenic to Humans 	<p>Evaluaciones no actualizadas desde 2005</p> <p>1986 Guidelines for Carcinogen Risk Assessment</p> <p>Categorías</p> <ul style="list-style-type: none"> A Human carcinogen B1 Probable human carcinogen B2 Probable human carcinogen C Possible human carcinogen D Not classifiable as to human carcinogenicity E Evidence of noncarcinogenicity in humans

La clasificación de una sustancia como carcinógeno es una decisión regulatoria, basada en la mejor información científica disponible. No es el resultado de un solo estudio.

Coefficientes de riesgo unitario por inhalación para arsénico en el aire

Agencia	Riesgo Unitario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Concentración 1/100.000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
USEPA	0,0043	0,0023
OMS	0,0015	0,0066
CARB (California)	0,0033	0,0030
(TCEQ) Texas	0,0014	0,0667
(DECOS) Países Bajos	0,0007	0,0143



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

$$R_{EPA}(\hat{c}) = 2,87 \times R_{OMS}(\hat{c})$$

ESCENARIOS REGULATORIOS ANALIZADOS

La investigación al servicio de una política pública sustentable



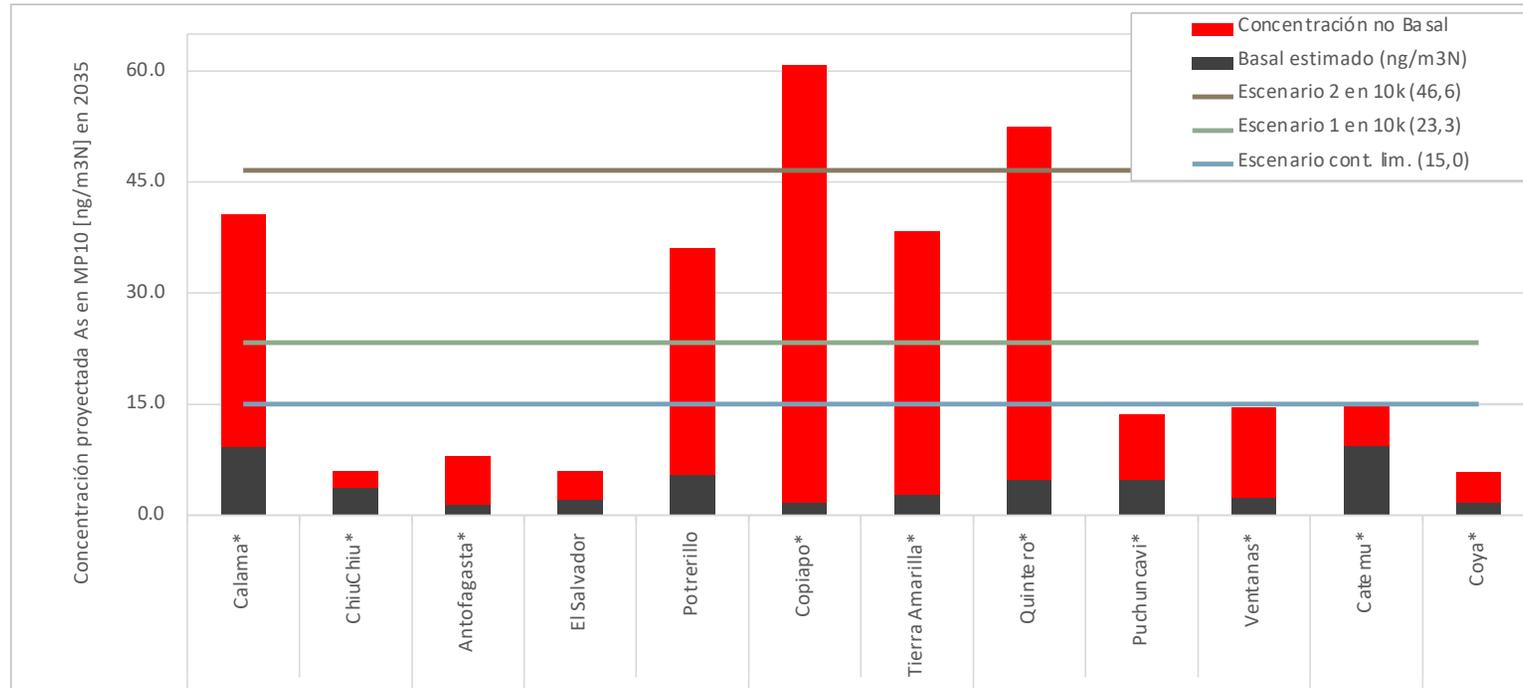
27

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.

Valores de NPCA propuestos



* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

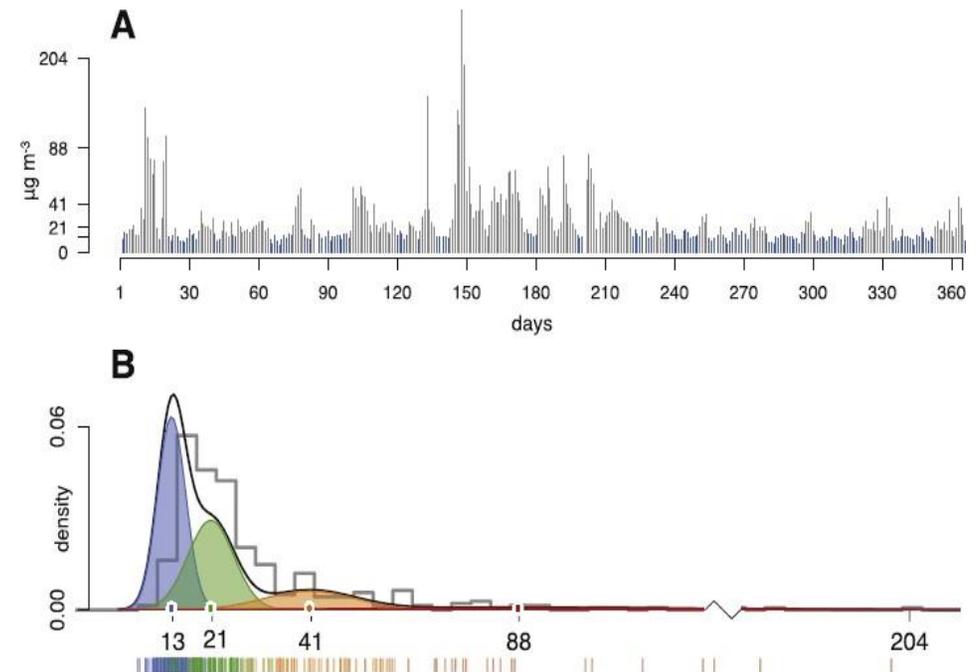
- Escenario 2 en 10k: Incumple HVL y Ventanas.
- Escenario 1 en 10k: Incumple Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.
- Escenario contribución limitada: Incumple Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.

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

Estimación del aporte basal – Cadenas markovianas ocultas

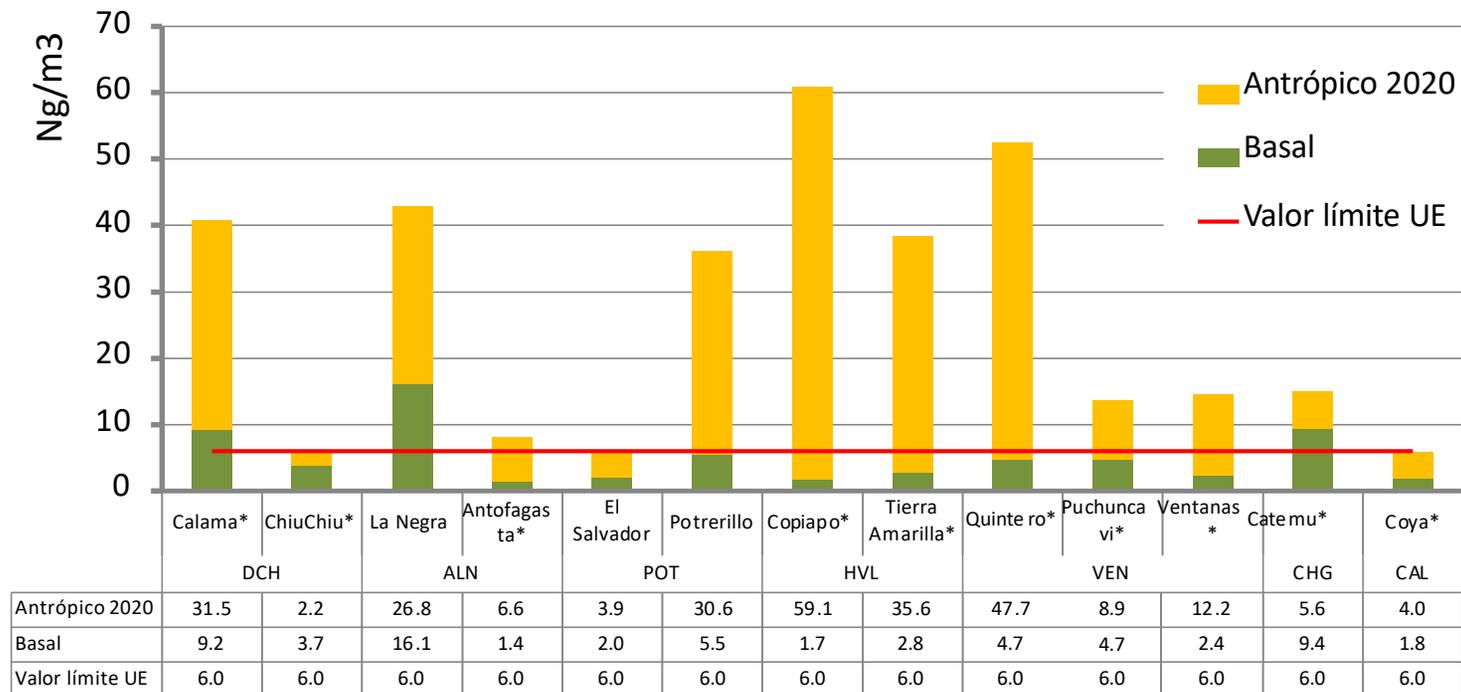
- Para la estimación se realiza un análisis estadístico, basado en cadenas markovianas ocultas (HMM)
- Las HMM realizan una agrupación de las observaciones a lo largo del tiempo en regímenes de distintas concentraciones (*clusters*)
- Los resultados se comparan con las mediciones observadas en periodos 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]

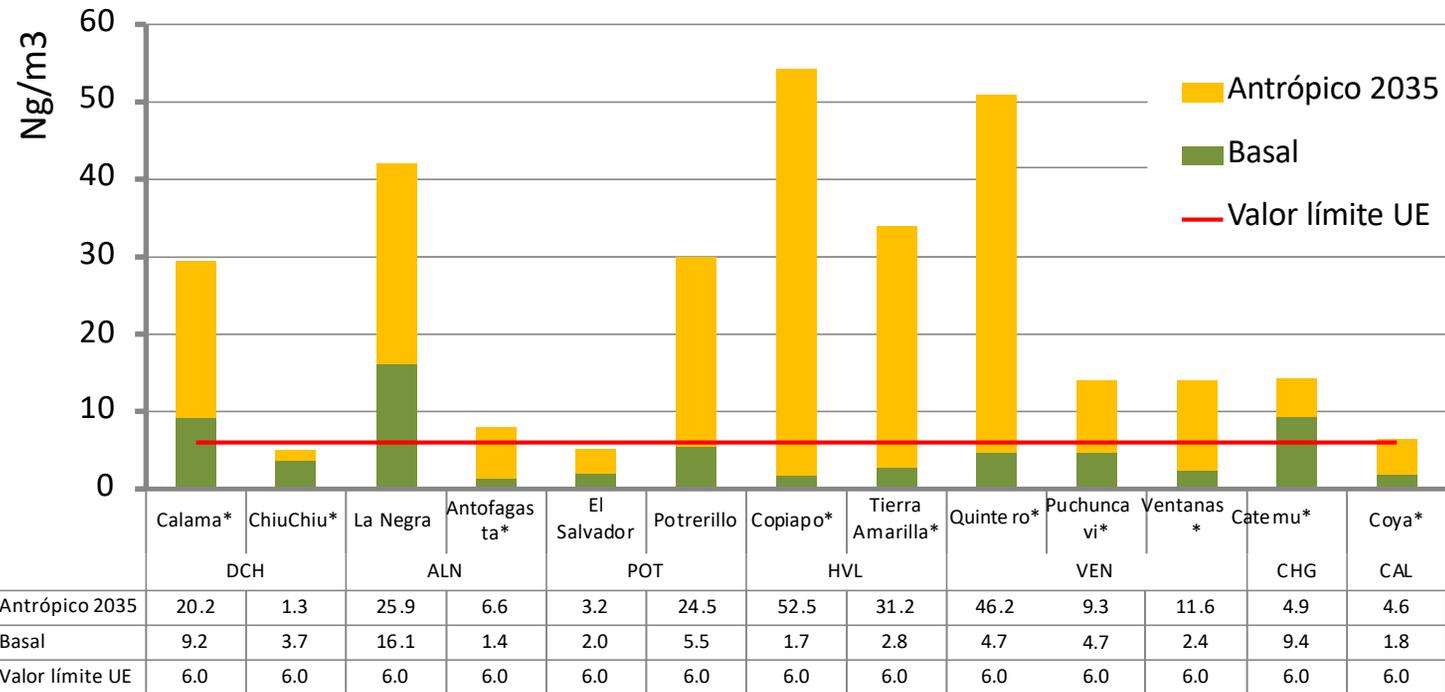


Background determinado a partir de mediciones de concentraciones ambientales usando Cadenas markovianas ocultas

*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)

Proyección de 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)

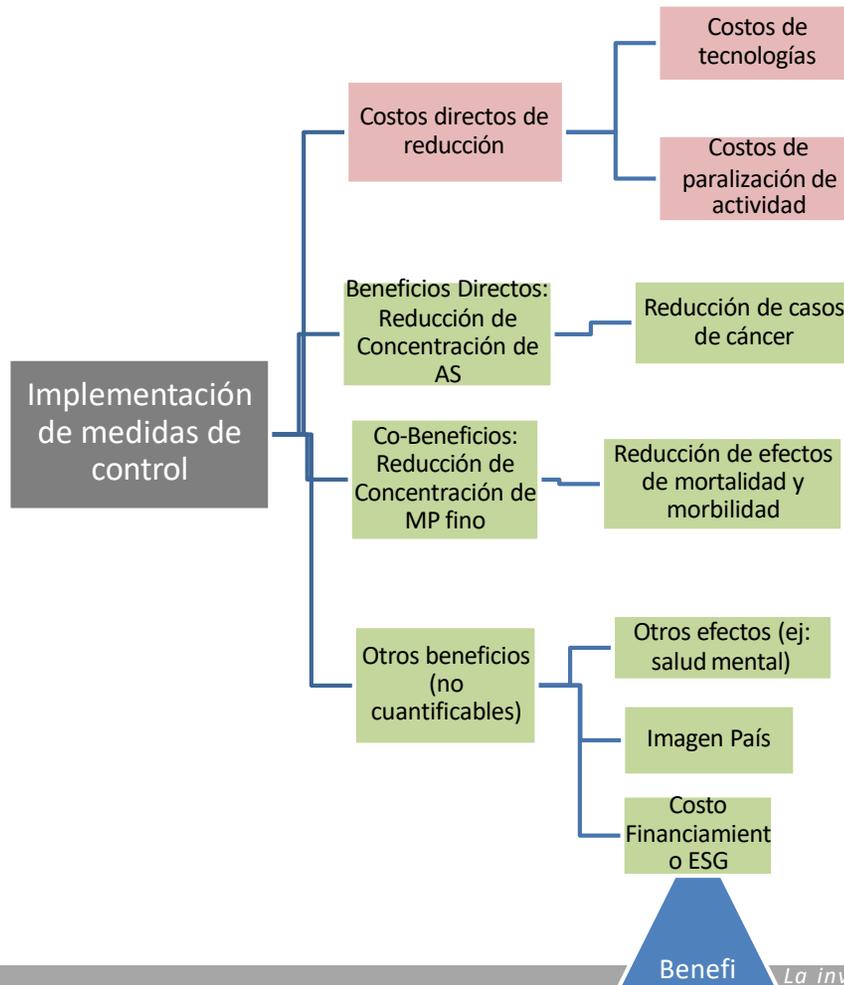
EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS

La investigación al servicio de una política pública sustentable



94

Consecuencias de la intervención de medidas de control de emisiones



- El cumplimiento de la NPCA de As requiere implementar medidas de control.
- Estas medidas tienen costos y beneficios directos, pero también muchos co-beneficios
- También existen beneficios identificables, pero no cuantificables.
- La decisión debe considerar las consecuencias, cuantificables o no.

Metodología estimación costos de inversión, operación y mantención 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: Paquete de medidas para escenarios de NPCA

Fundación	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	-	-	-
Potrerosillos	-	-	-
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
	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
Ventanas	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.

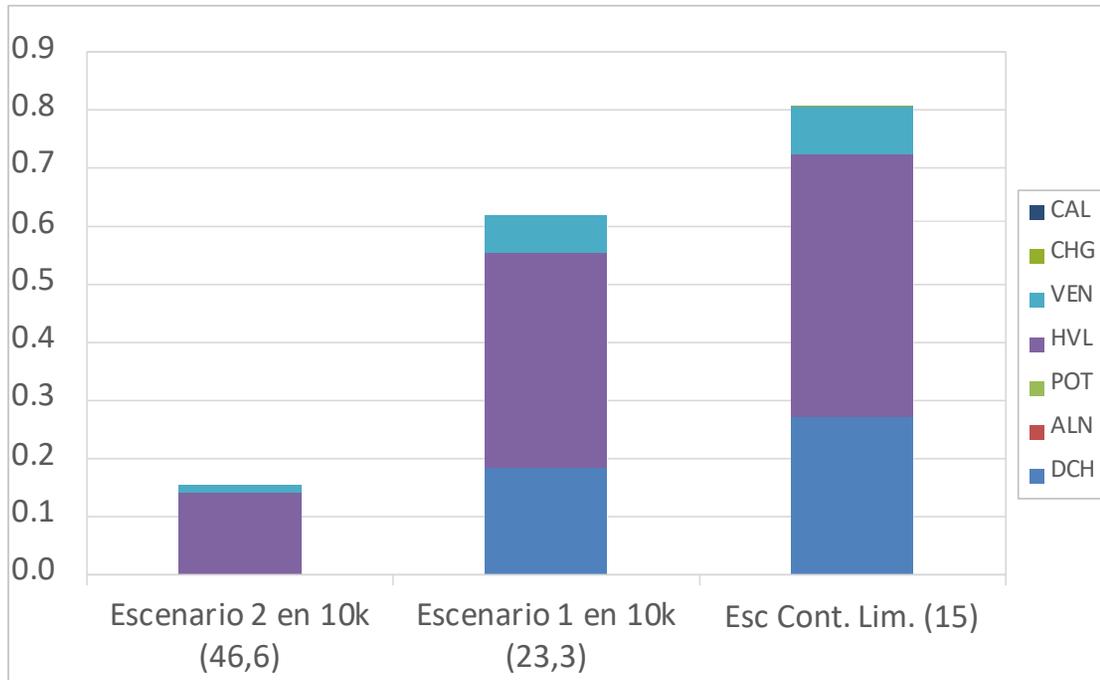
→ Esto se traduce en que las concentraciones esperadas para dar cumplimiento a la norma puedan ser menores a las concentraciones límites establecidas por la norma.

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

Beneficios por reducción en número de casos anuales de cáncer



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

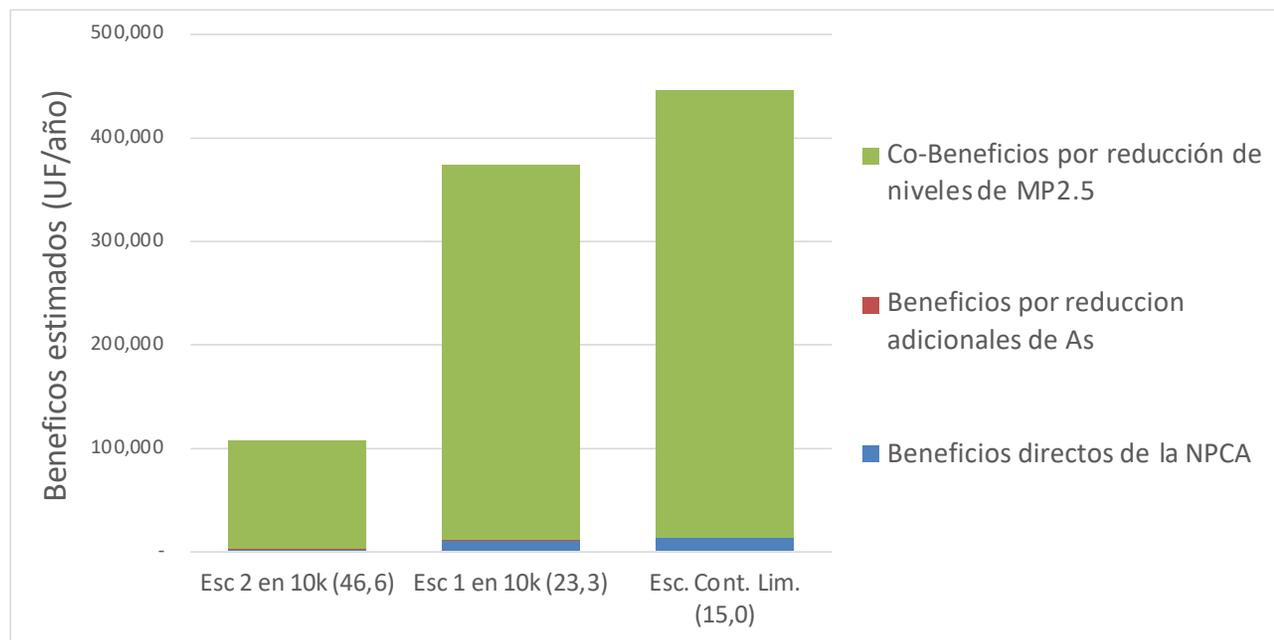
Localidad	Esc. 2 en 10k (46,6)	Esc. 1 en 10k(23,3)	Esc Cont. Lim. (15)
Calama*	-	3.087	4.563
ChiuChiu*	-	0	1
La Negra	-	-	-
Antofagasta*	-	-	-
El Salvador	-	-	-
Potrerillo	-	-	-
Copiapó*	2.283	6.034	7.371
Tierra Amarilla*	83	218	267
Quintero*	192	959	1.232
Puchuncaví*	7	35	45
Ventanas*	15	75	96
Catemu*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

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

La investigación al servicio de una política pública sustentable



MUCHAS GRACIAS