

Comité Operativo

Norma primaria de calidad del aire para arsénico

Presentación Comité Operativo | SESIÓN N°4/2022
Jueves 28 de julio, 2022

Emmanuel Mesías Rojas
División de Calidad del Aire
Ministerio del Medio Ambiente



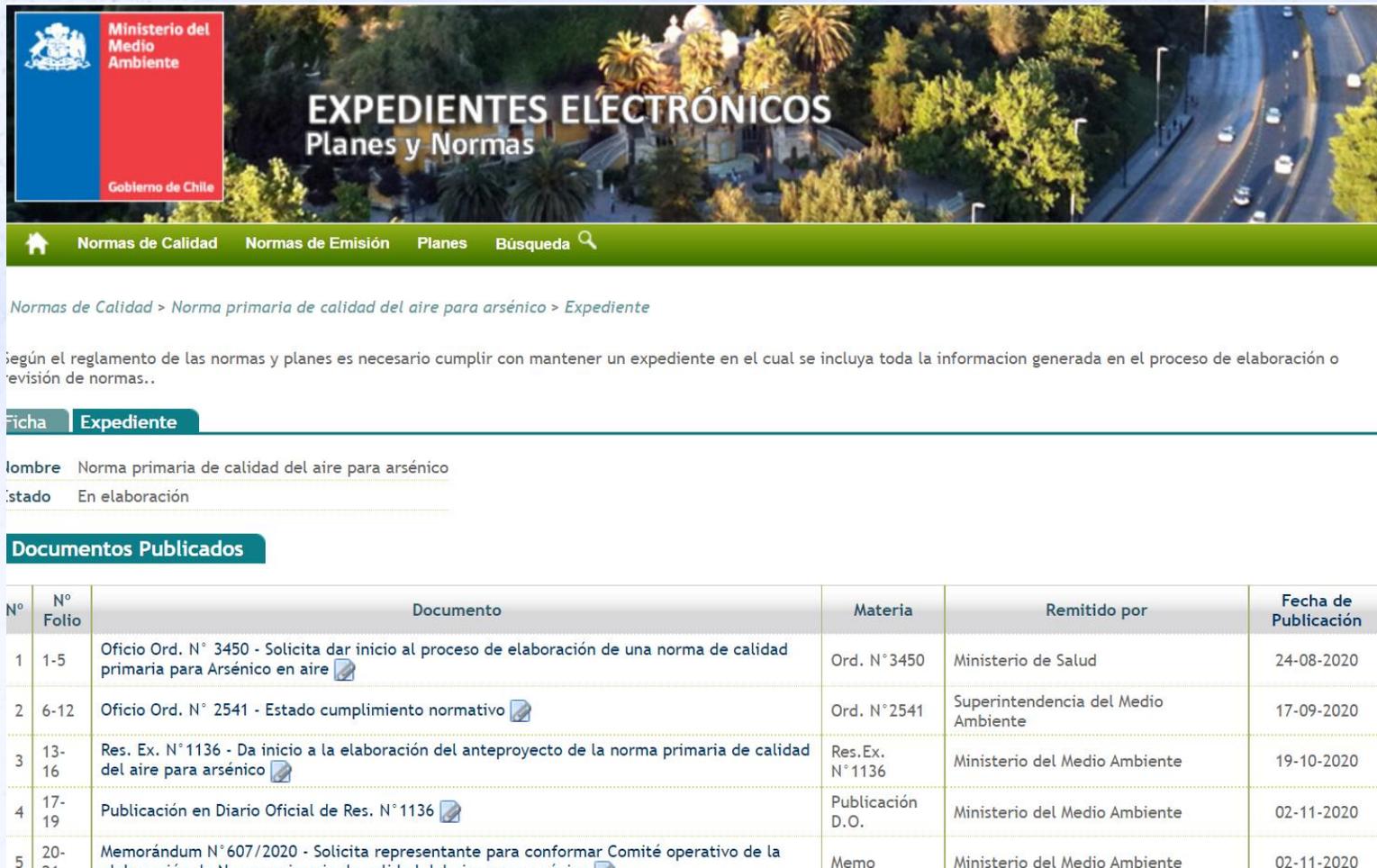
Tabla sesión

- **Primera presentación:** (1) Estudio de Alternativas (revisión de Normativa internacional y escenarios regulatorios propuestos), (2) Resultados preliminares de Costos y Beneficios de escenarios regulatorios propuestos.
- Expositor: Luis Cifuentes - José Miguel Valdés - Equipo consultor - DICTUC
- **Segunda presentación:** Definición de propuesta regulatoria
Expositor: Emmanuel Mesías Rojas, División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente.



Expediente electrónico

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**

Título 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





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)

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente

Objetivos del proyecto

La investigación al servicio de una política pública sustentable



3

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.

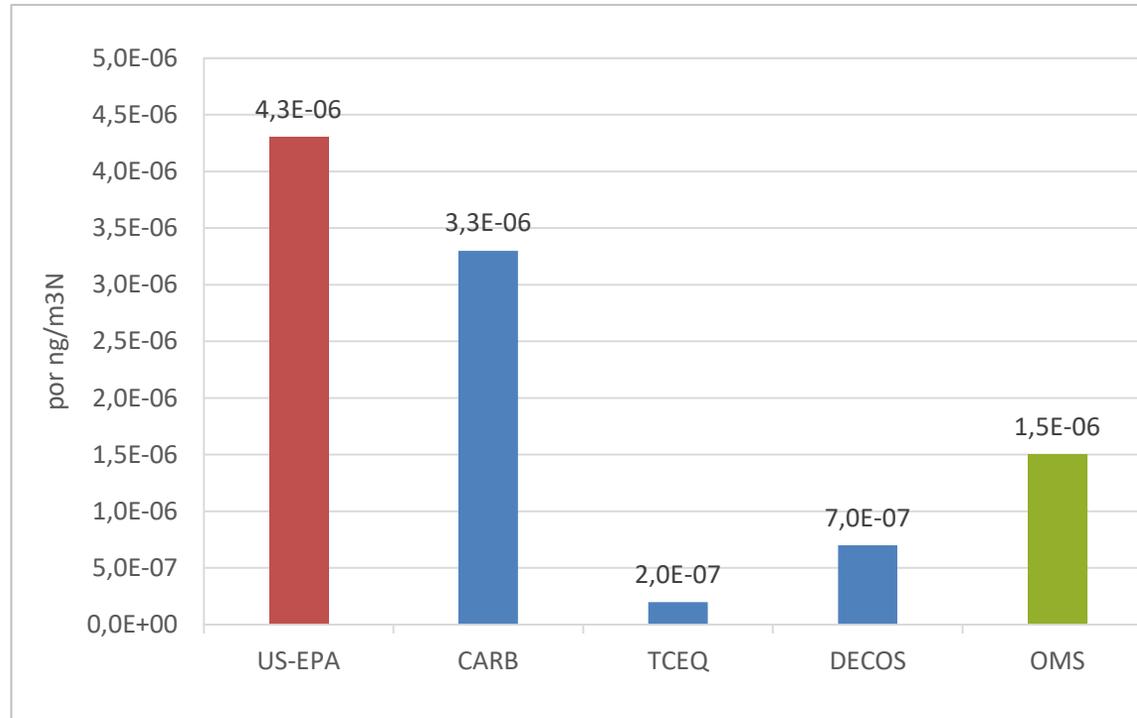
Estudio de Alternativas (revisión de Normativa internacional y escenarios regulatorios propuestos)

La investigación al servicio de una política pública sustentable

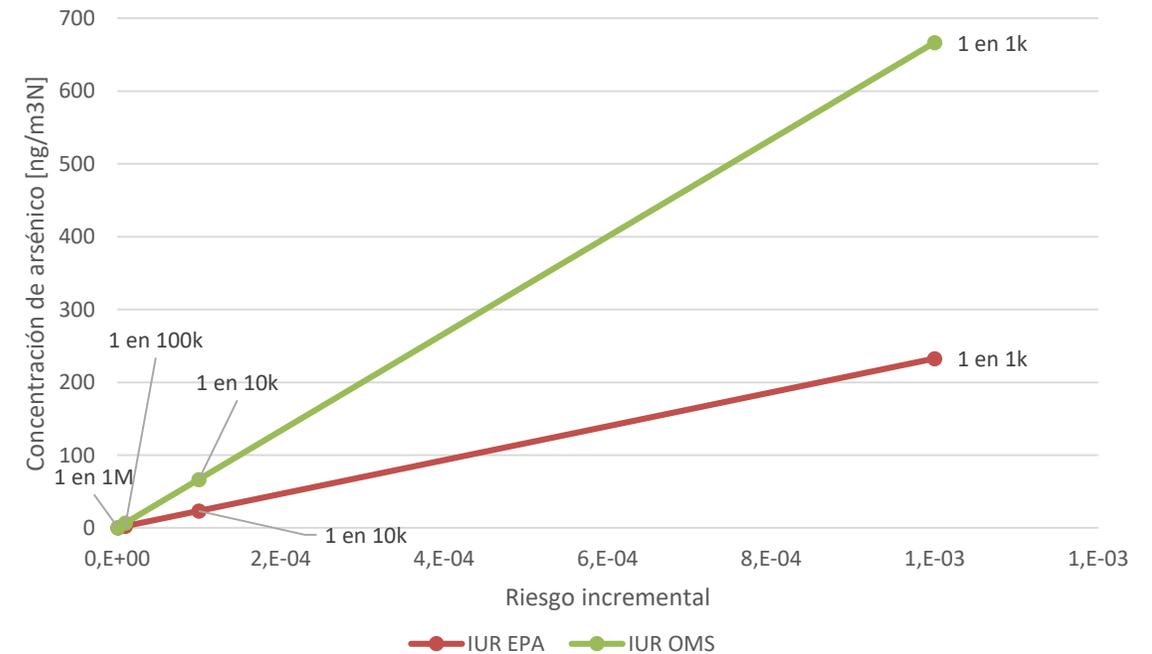


6

Coefficientes de riesgo unitario por inhalación para arsénico en el aire

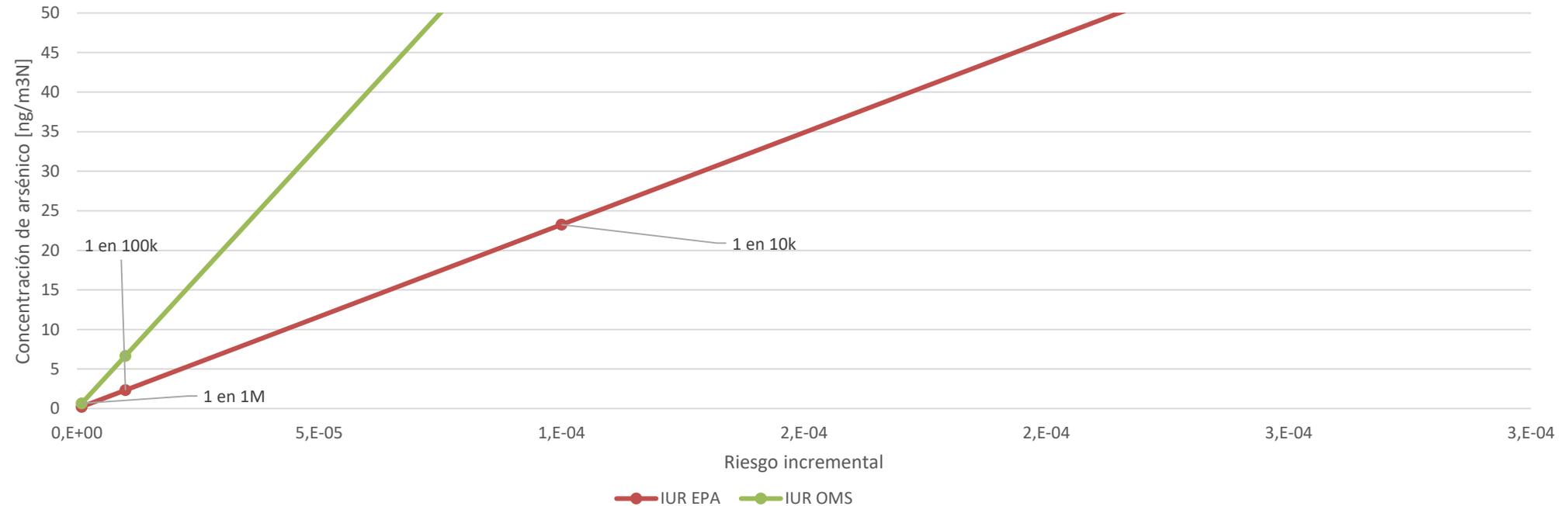


Coefficientes de riesgo unitario por inhalación (IUR) según Agencia



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

Coeficientes de riesgo unitario por inhalación para arsénico en el aire



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

Escenario regulatorio internacional

- Concentraciones límites de As enfocado en la protección de la salud
- Se incluyen tanto símiles de NPCA, como también valores de referencia que no son normados como una NPCA, sino que operan como valores **objetivos (meta)** . En la mayor parte de los casos, los límites son planteados considerando sus riesgos en salud, expresados como el riesgo individual incremental asociado a la exposición, pero también consideran las limitaciones técnicas y la diversidad territorial de los niveles de As.
- La mayoría de estos valores son iguales o cercanos a 6 ng/Nm³ establecido por la Directiva 2004/107/EC de la UE, i.e. “valor objetivo” que corresponde al contenido promedio de As como fracción de MP10 durante un año.

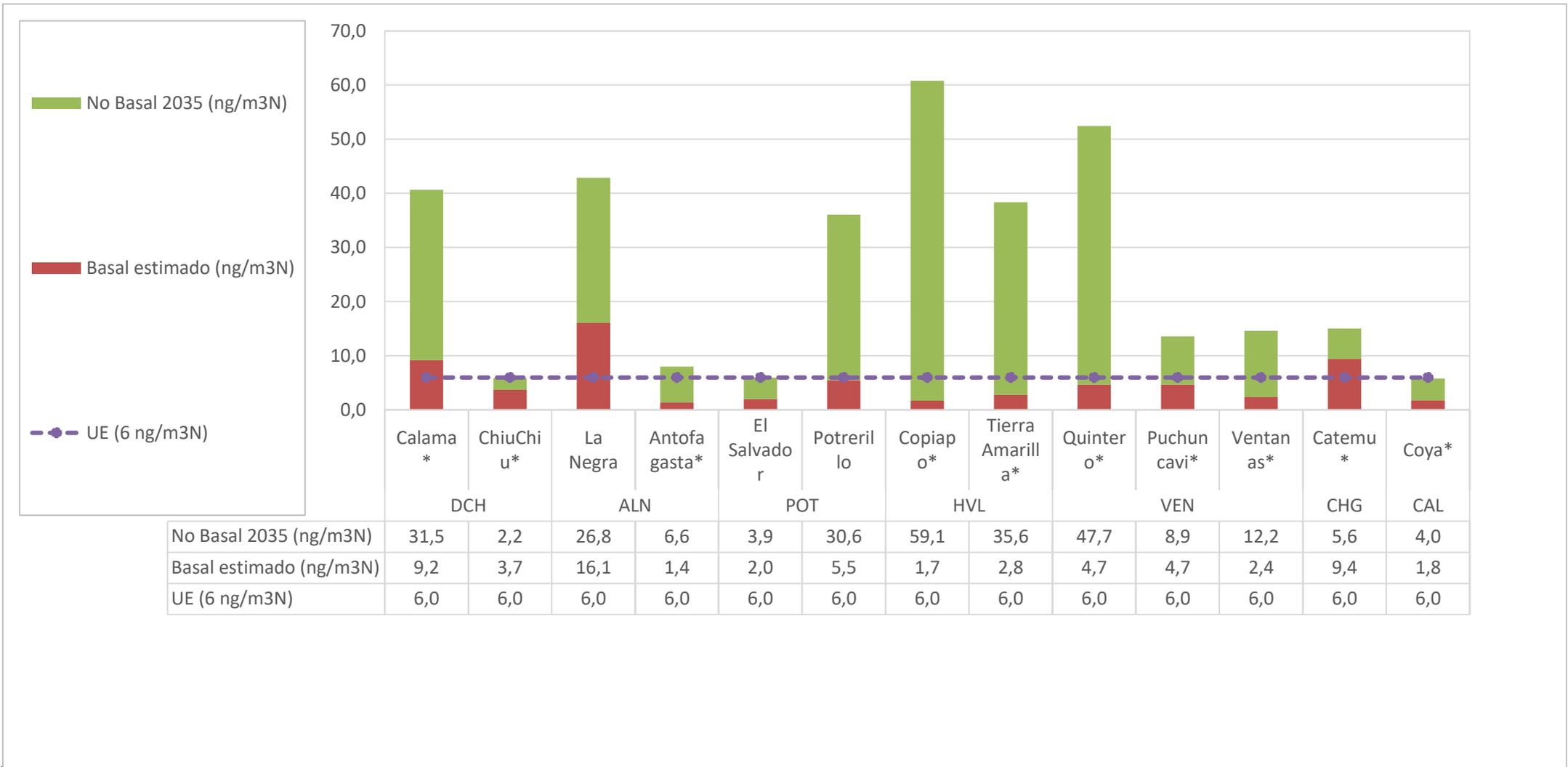
País/Región	Valor límite [ng/Nm ³]	Tipo de límite	Fuente
UE	6,0	Target Value (TV)	(Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2004)
China	6,0	Reference Concentration Limit	(MEP, 2012)
EEUU, Massachusetts	0,3	Allowable Ambient Limit (AAL)	(Massachusetts, 2011)
India	6,0	Time-Weighted Average Concentration (TWA)	(MOEF & CC & Government of India, 2019)
Israel	6,0	Maximum Allowable Concentration (MAC)	(Government of Israel, 2011)
Nueva Zelanda	5,5	Ambient Air Quality Guideline	(Ministry for the Environment & Government of New Zealand, 2002)

Escenario regulatorio internacional

- Concentraciones límites de As enfocado en la protección de la salud
- Se incluyen tanto **símiles de NPCA**, como también valores de referencia que no son normados como una NPCA, sino que operan como valores **objetivos (meta)** . En la mayor parte de los casos, los límites son planteados considerando sus riesgos en salud, expresados como el riesgo individual incremental asociado a la exposición, pero también consideran las limitaciones técnicas y la diversidad territorial de los niveles de As.
- La mayoría de estos valores son iguales o cercanos a 6 ng/Nm³ establecido por la Directiva 2004/107/EC de la UE, i.e. “valor objetivo” que corresponde al contenido promedio de As como fracción de MP10 durante un año.

País/Región	Valor límite [ng/Nm ³]	R_{EPA}	R_{OMS}
UE	6,0	~3 en 100k	~1 en 100k
China	6,0	~3 en 100k	~1 en 100k
EEUU, Massachusetts	0,3	~1 en 1M	~3 en 10M
India	6,0	~3 en 100k	~1 en 100k
Israel	6,0	~3 en 100k	~1 en 100k
Nueva Zelanda	5,5	~3 en 100k	~1 en 100k

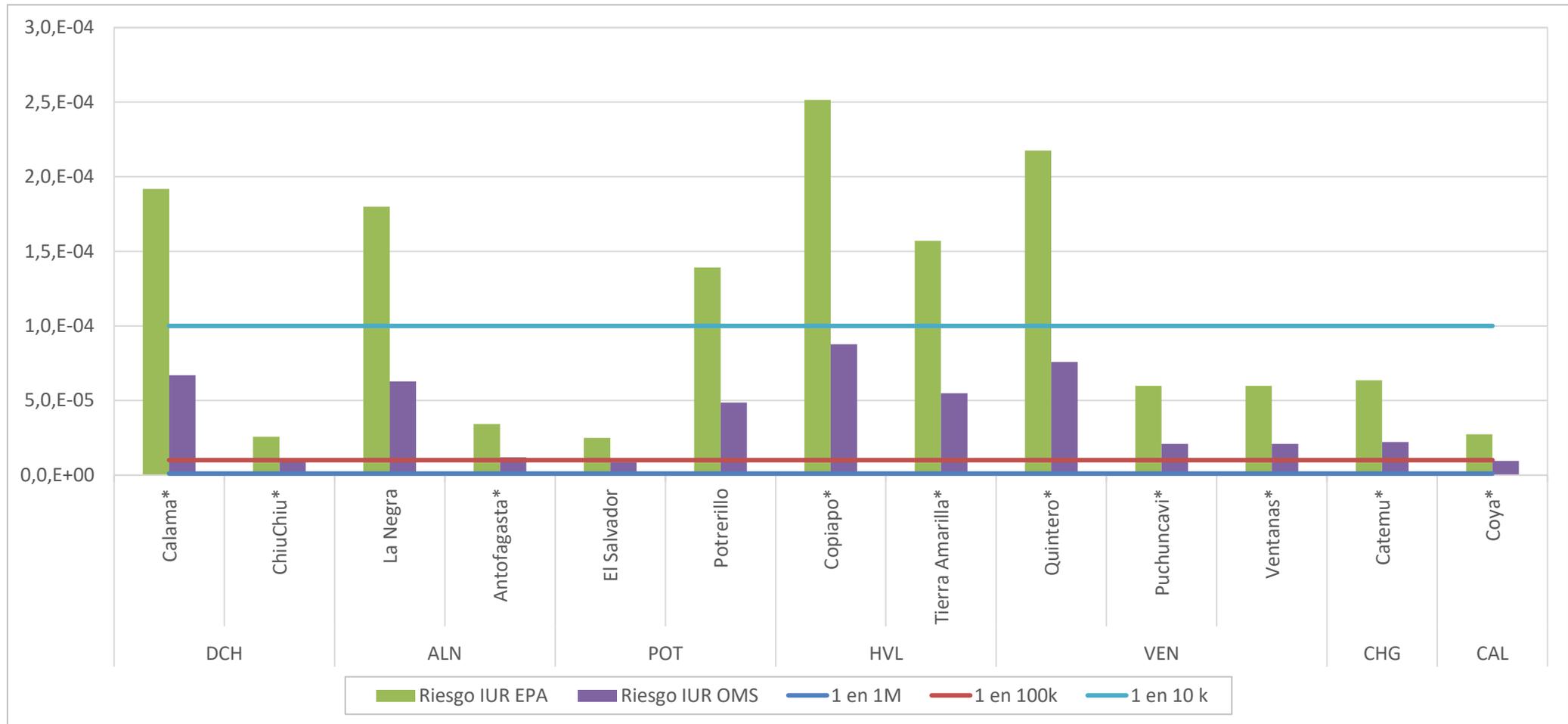
Proyección base 2035: Concentración As [ng/m³N] medido en MP10



* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

Promedio: Promedio ponderado por población de cada localidad. La proyección puede variar con los resultados finales del modelo de dispersión (aunque no tanto).

Riesgo incremental individual de cáncer para proyección base 2035 ⁶⁵³



*Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

□ Promedio considerando la concentración media proyectada ponderada por población.

□ En el escenario base los riesgos se encuentran entre:

- IUR EPA: 2,5 en 100k hasta 2,5 en 10k
- IUR OMS: 1 en 100k hasta 1 en 10k

Definición de escenarios de NPCA

Antecedentes respecto a riesgo cancerígeno aceptado en Chile

- Arsénico en agua potable:
 - Norma en 0,01 mg/L → Riesgo de $2e-4 = 2$ en 10k.
 - Drinking Water Unit Risk ($5e-5$ per ug/L).
 - Exposición calculada con supuestos típicos.

- US-EPA típicamente considera riesgos cancerígenos entre 1 en 10k ($1e-4$) y 1 en 1M ($1e-6$).

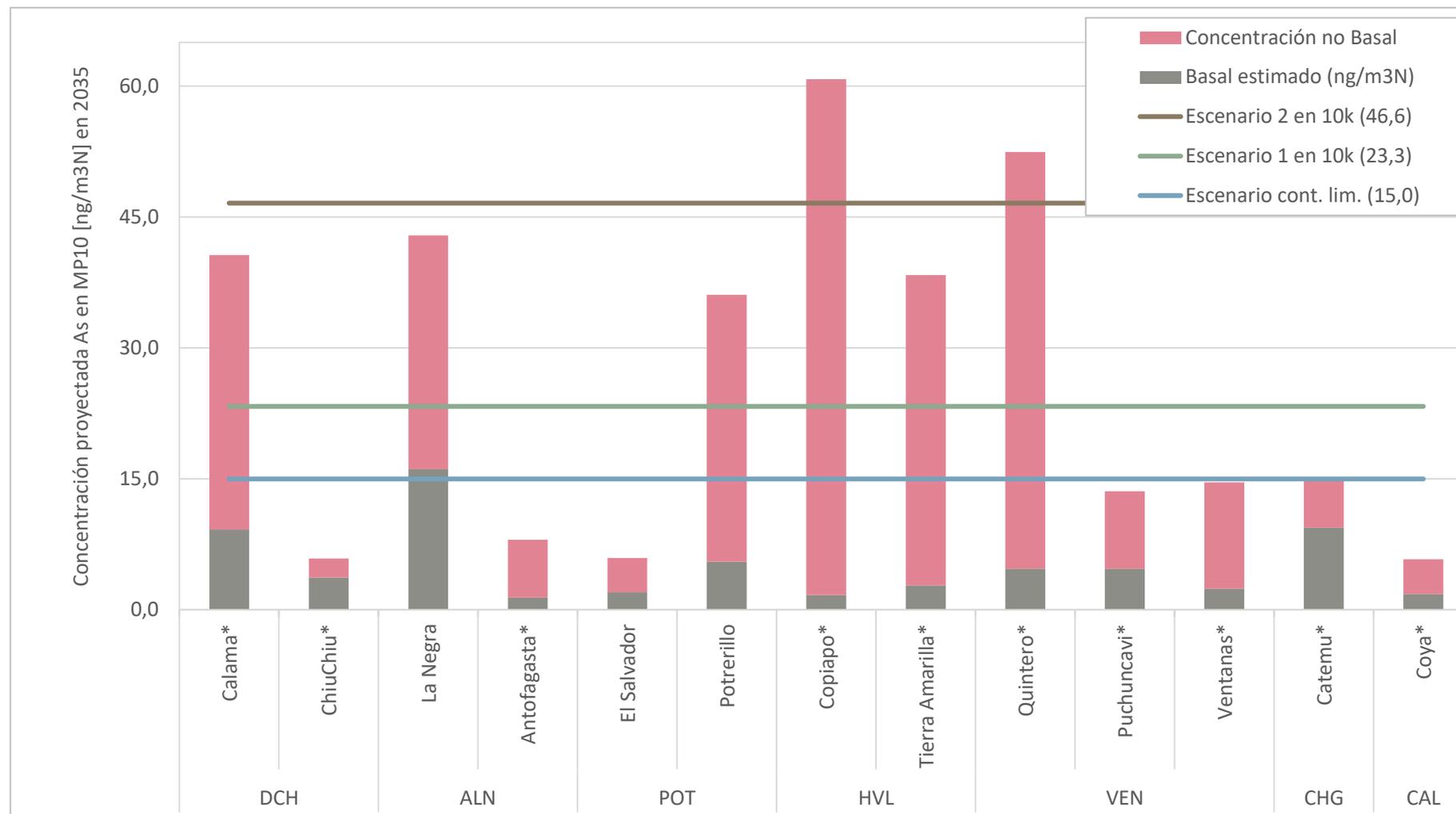
- OMS considera un riesgo aceptable de 1 en 100k ($1e-5$) (OMS, 2001).

Escenarios normativos propuestos

Se proponen 3 escenarios normativos:

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

Escenarios normativos propuestos



* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

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

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

Resultados preliminares Beneficio Costo

La investigación al servicio de una política pública sustentable



21

Metodología para calcular los efectos en salud por la reducción en concentración marginal

*Riesgo de cáncer(de por vida) = Concentración promedio durante la vida * IUR*

Ecuación 36 Estimación del riesgo de cáncer por inhalación

Riesgo de cáncer por año = $\frac{\text{Riesgo de cancer (de por vida)}}{\text{Esperanza de vida}}$

Ecuación 37 Estimación de riesgo anual de cáncer por inhalación

B1: Cambio en la incidencia

*Casos anuales en exceso = Δ Riesgo anual de cáncer (Δ Concentración) * Población*

Ecuación 39 Estimación de cambio en casos anuales por cambios en concentración

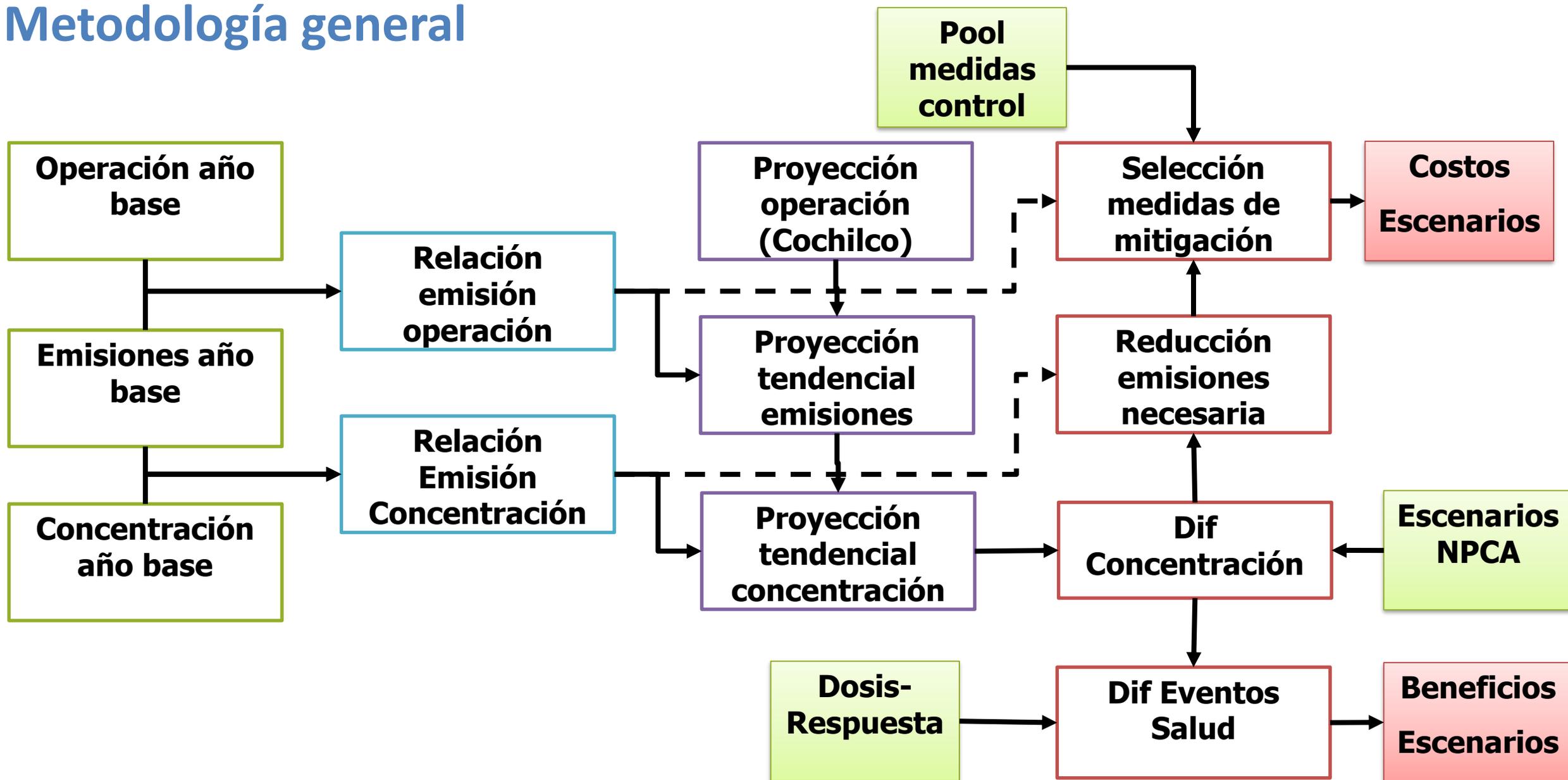
B2: Cambio en casos esperados

*Beneficio anual = Δ Casos anuales (Δ Concentración) * (1 – Esperanza Sobrevida) * VVE*

Ecuación 40 Estimación de beneficios por reducción en concentración de arsénico

B3: Valorización de cambios

Metodología general



Modelo

Parametros		Resultados	
Ano base	Ano base <input type="text" value="2020"/>	Resumen Medidas NC As	Resumen Medidas NC As <input type="button" value="Calc"/>
Valor Norma Primaria Calidad del Aire	Valor Norma Primaria Calidad del Aire (ng/m3N) <input type="button" value="Table"/>	Proyeccion Concentracion segun norma	Proyeccion Concentracion segun norma (ng/m3) <input type="button" value="Calc"/>
Considera loc sin rep. MP10 NC	Considera loc sin rep. MP10 NC <input type="text" value="Considera los dos"/>	Costo escenarios	Costo escenarios (UF) <input type="button" value="Calc"/>
IUR Resultados	IUR Resultados <input type="text" value="US-EPA"/>	Delta Emision Efectiva Estimada	Delta Emision Efectiva Estimada (t/año) <input type="button" value="Calc"/>
Medidas Seleccionadas por escenario	Medidas Seleccionadas por escenario <input type="button" value="Table"/>	Delta casos Base	Delta casos Base (casos Cancer/año) <input type="button" value="Calc"/>
Relacion HVL	Relacion HVL <input type="text" value="0.0267"/>	Casos Evitados CoBeneficios	Casos Evitados CoBeneficios (casos) <input type="button" value="Calc"/>
		Beneficios y Cobeneficios	Beneficios y Cobeneficios (UF) <input type="button" value="Calc"/>
		Generacion indicadores	
		Resumen ACB por Fundicion	Resumen ACB por Fundicion <input type="button" value="Calc"/>
		Resumen ACB por escenario	Resumen ACB por escenario <input type="button" value="Calc"/>

□ Modelo desarrollado en Analytica

- Permite modelación exploratoria de otros escenarios, presentando resumen de indicadores

Evaluación de los beneficios de los escenarios regulatorios propuestos

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

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

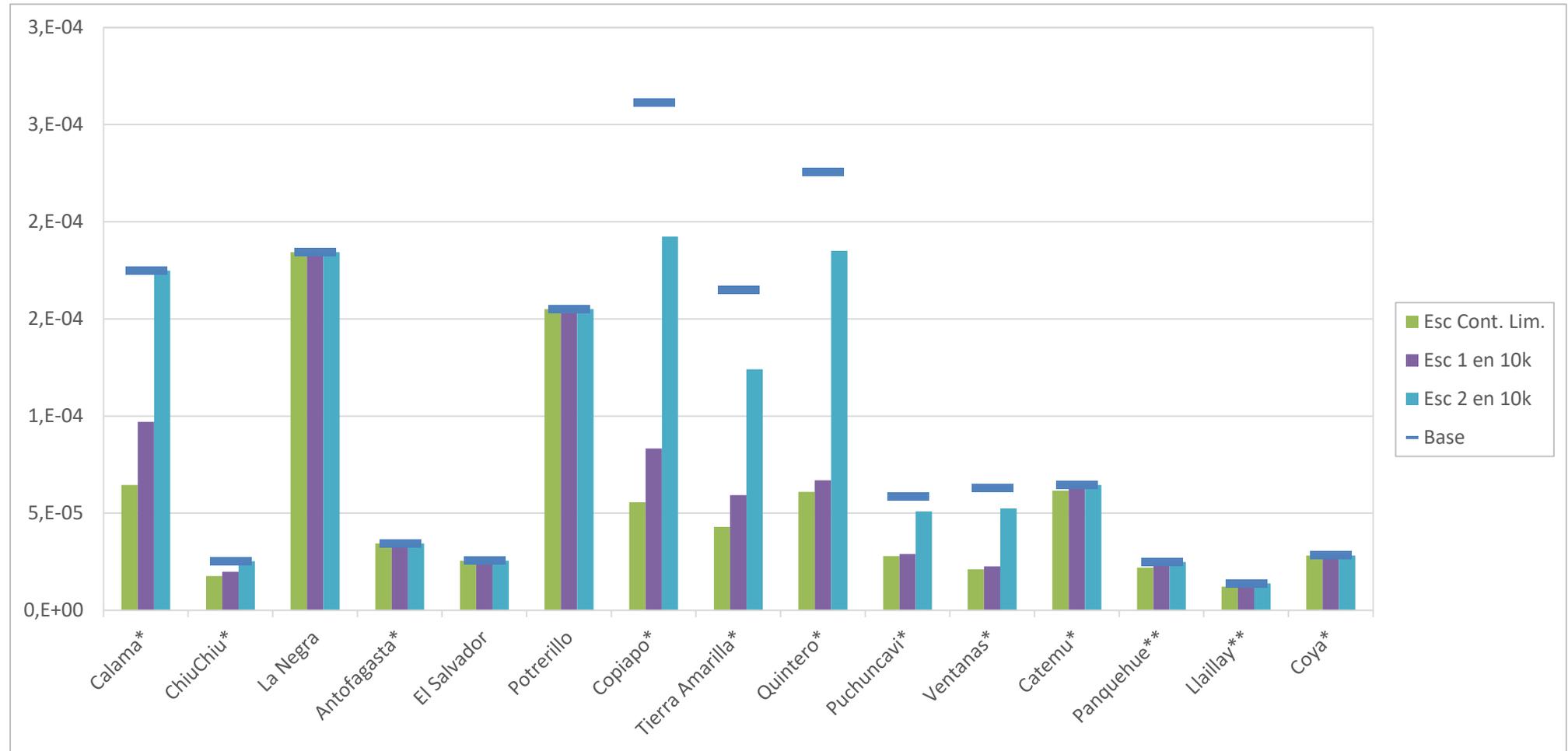
Notas:

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

* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

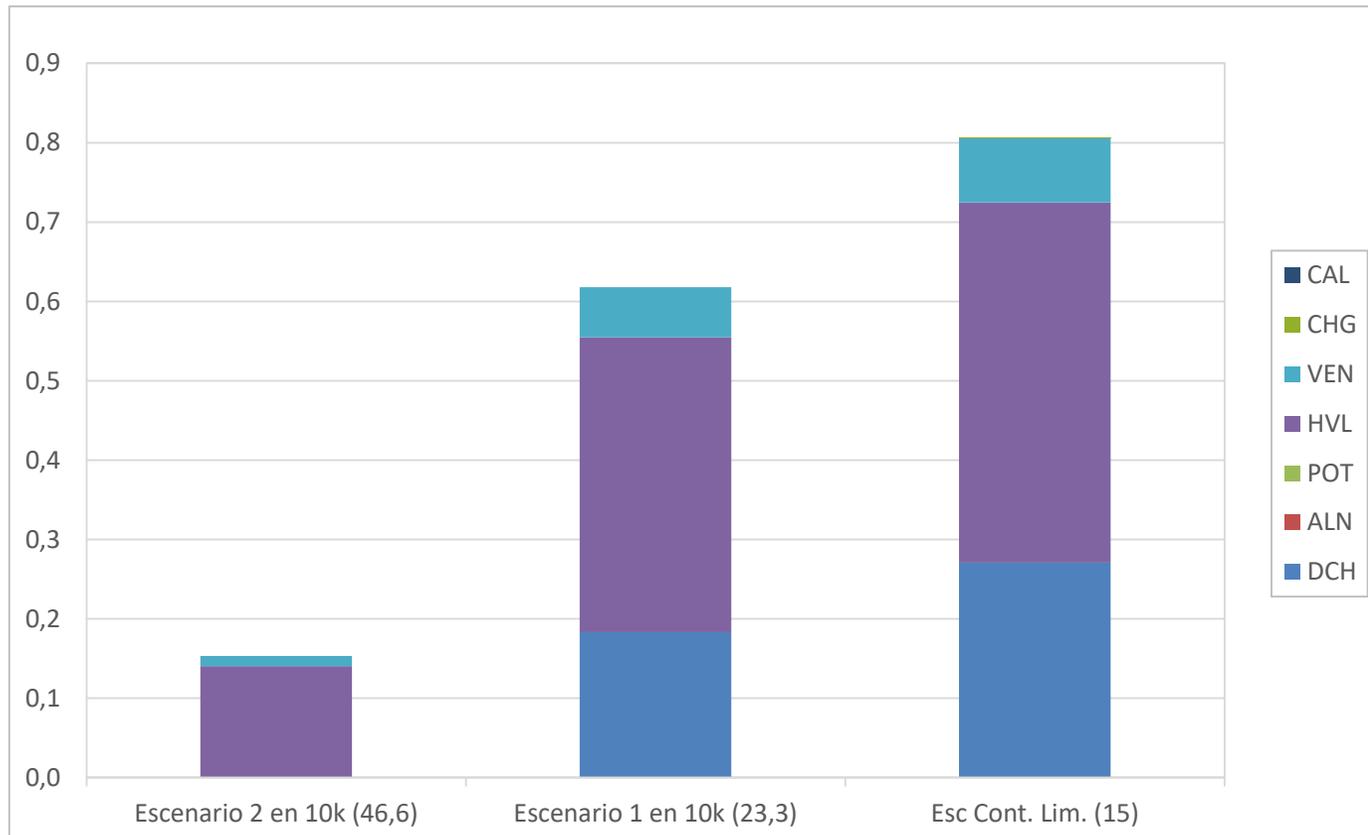
** Localidad no cuenta con mediciones de As, resultados provienen solo de la modelación de dispersión.

Variación de riesgo incremental, para año referencial



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

Beneficios por reducción en número de casos esperados



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

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

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

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

* Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

Metodología estimación costos de inversión, operación y mantenimiento de tecnologías de reducción de emisiones 664

- 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 665

□ 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.

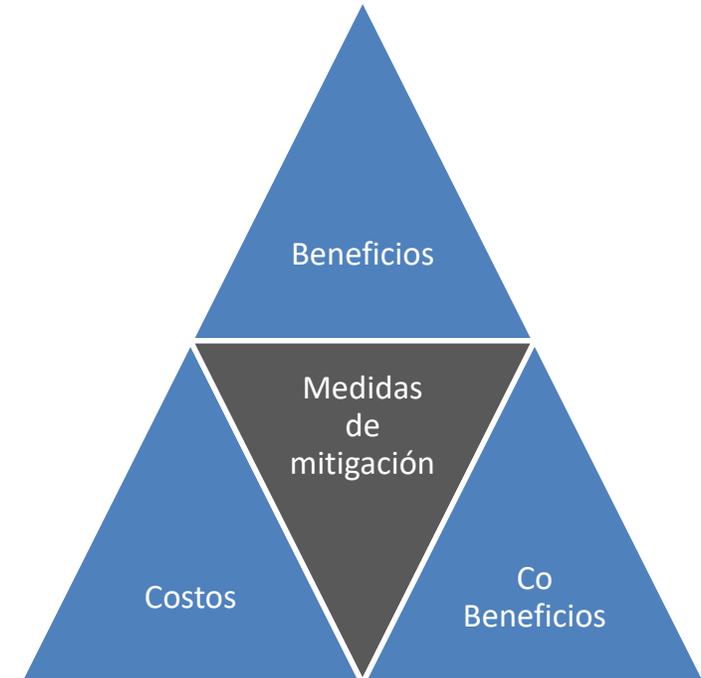
- Se estima la **emisión de arsénico proyectada** para cada fundición, según su producción proyectada
- Se estima un **costo unitario de no producción**, utilizando el mismo valor agregado de la fundición.

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

Costos y beneficios:

Selección de paquete de medidas para escenarios de NPCA

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



Costos y beneficios: Paquete de medidas para escenarios de NPCA

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

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

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

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

Nota: Resultados presentados con cuatro cifras significativas

Reducciones de emisiones logradas y efecto en concentraciones

Estimación de reducción de emisiones lograda (requerida)

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

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

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

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

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

Beneficios	Esc 2 en 10k (46,6)	Esc 1 en 10k (23,3)	Esc Cont. Lim. (15,0)
Mort-All-30+	103.660	360.998	431.285
HA-CVD-65+	114	388	461
HA-CVD-18-64	52	201	246
HA-RSP-65+	3	12	14
HA-CLD-18-64	0	1	2
HA-Asth-<65	0	1	1
ERV-Asth-All	18	67	81
WLD-All-18-64	21	81	99
Total	103.870	361.748	432.188

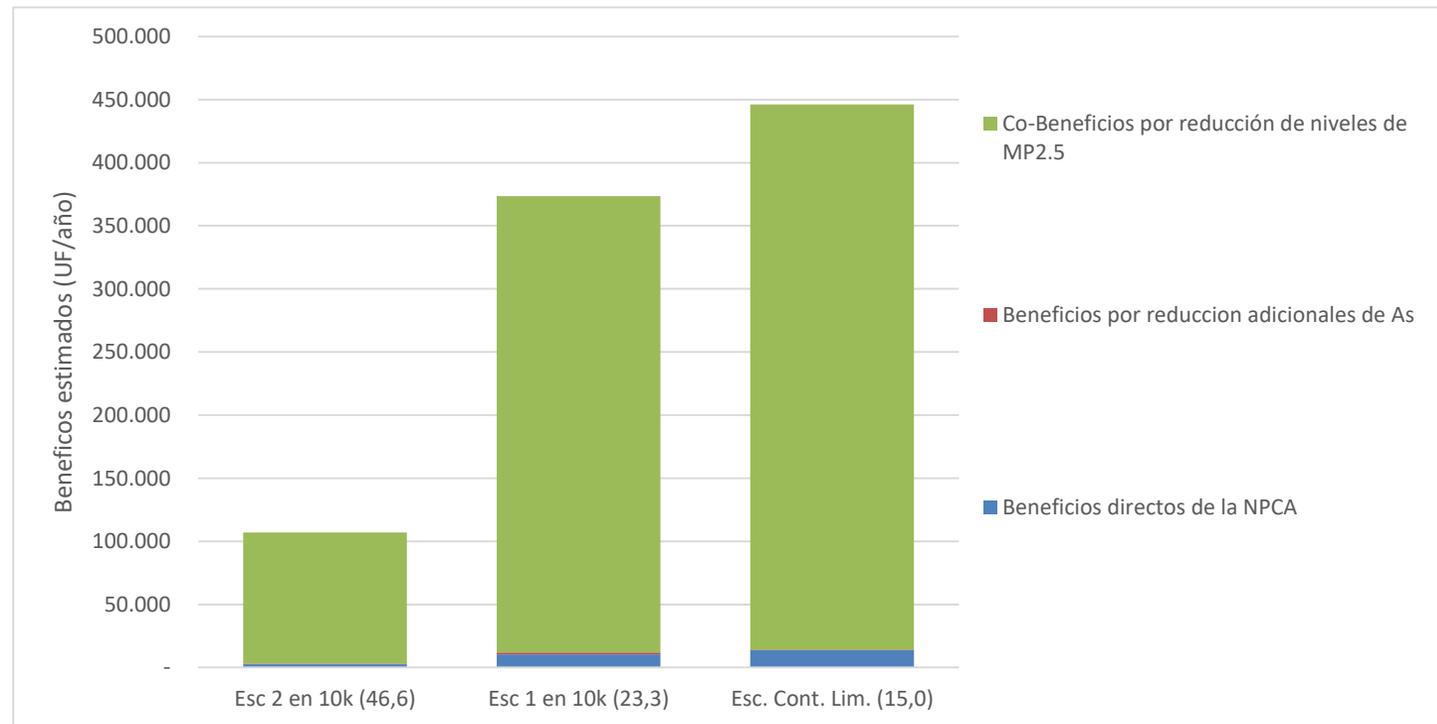
Nota: La traducción de la notación de los beneficios puede consultarse en la Sección 7.5.2 del Informe Complementario sobre la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.

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

Costos y beneficios:

Beneficios totales

Beneficios totales estimados [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

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)	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

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 por fundición

673

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 (sin considerar la Fundación Ventanas)

Escenario Propuesto	Todas las fundiciones			Excluyendo la Fundación Ventanas		
	Beneficios [UF/año]	Costos [UF/año]	Razón B/C	Beneficios [UF/año]	Costos [UF/año]	Razón B/C
Esc 2 en 10k (46,6 ng/m ³)	105.000	100.000	1,06	91.000	33.000	2,74
Esc 1 en 10k (23,3 ng/m ³)	369.000	713.000	0,52	311.000	475.000	0,66
Esc Contribución Limitada (15 ng/m ³)	441.000	11.500.000	0,04	382.000	11.200.000	0,03

Sensibilidades exploradas

- Sensibilización frente a IUR y relación As : MP2.5 en HVL

Escenario As : MP2,5 en HVL	Esc 2 en 10k (46,6)		Esc 1 en 10k (23,3)		Esc. Cont. Lim. (15,0)	
	OMS	US-EPA	OMS	US-EPA	OMS	US-EPA
5,4%	0,61	0,62	0,35	0,36	0,03	0,03
2,7%	1,05	1,06	0,51	0,52	0,04	0,04
0,8%	3,13	3,15	1,25	1,26	0,09	0,09

- Normas variables en el territorio

- Normas que regulan el aporte antropogénico, como un valor sobre el nivel basal
- Son normas más eficientes, pues permiten mantener una protección en las zonas donde es posible ser más exigente.
- Por ejemplo, se comparó norma fija de 23,3 con norma de (basal + 14)
 - Mismo nivel de protección en zonas con basal alto (Calama)
 - Mayor nivel de protección en zonas con menor nivel basal (cerca de un 35% más estricta)
 - Costos aumentan en un 7%, pero los beneficios aumentan en un 8%

Sensibilidades

- De considerarse como representativas a La Negra y Potrerillos (actualmente sin representatividad):
 - Sólo tendrían restricciones para los escenarios regulatorios con límites anuales de 23,3 y 15,0 ng/m³
 - Son zonas con baja población por lo que la estimación de sus beneficios es baja
 - Adicionalmente, Altonorte cuenta con poco espacio de mejora, lo que implica que incluso tendría que considerar reducción en sus niveles de producción
 - B/C muy bajo, alcanzando niveles menores a 0,01.



¿PREGUNTAS?



MUCHAS GRACIAS

Definición de propuesta regulatoria

Emmanuel Mesías Rojas
División de Calidad del Aire
Ministerio del Medio Ambiente



Antecedentes generales

Origen

- Elemento natural
- Distribuido ampliamente en la corteza terrestre de nuestro país



Clasificación química

- Metaloide

En el medio ambiente

- Forma inorgánica → O₂, Cl o S
- Forma orgánica → C e H → arsenobetaina
- **Formas químicas inorgánicas son más tóxicas que la orgánicas.**



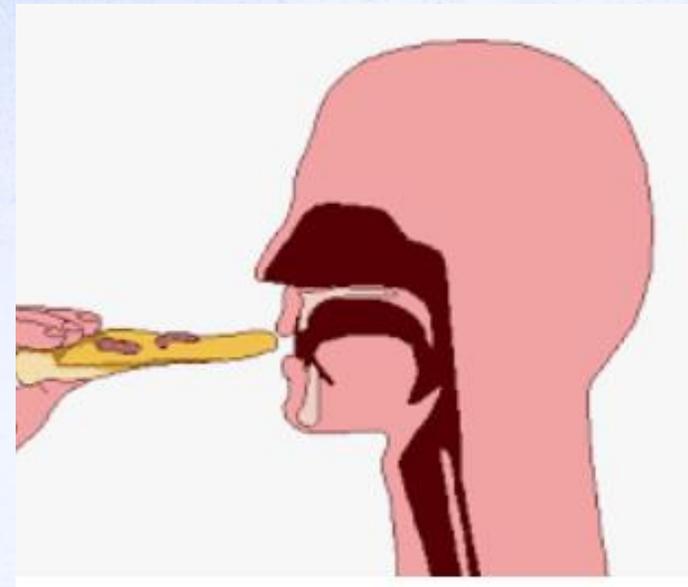
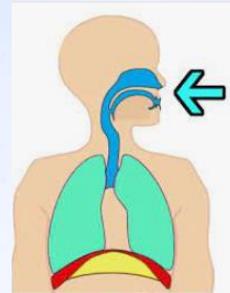
Emisiones atmosféricas:

- Naturales → resuspensión de polvo y erupciones volcánicas
- Antropogénicas → Procesos de extracción y fundición de minerales, funcionamiento de plantas de energía a carbón.
- Inventario de emisiones Nacional indica que **99% de las emisiones provienen de las fundiciones.**



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).



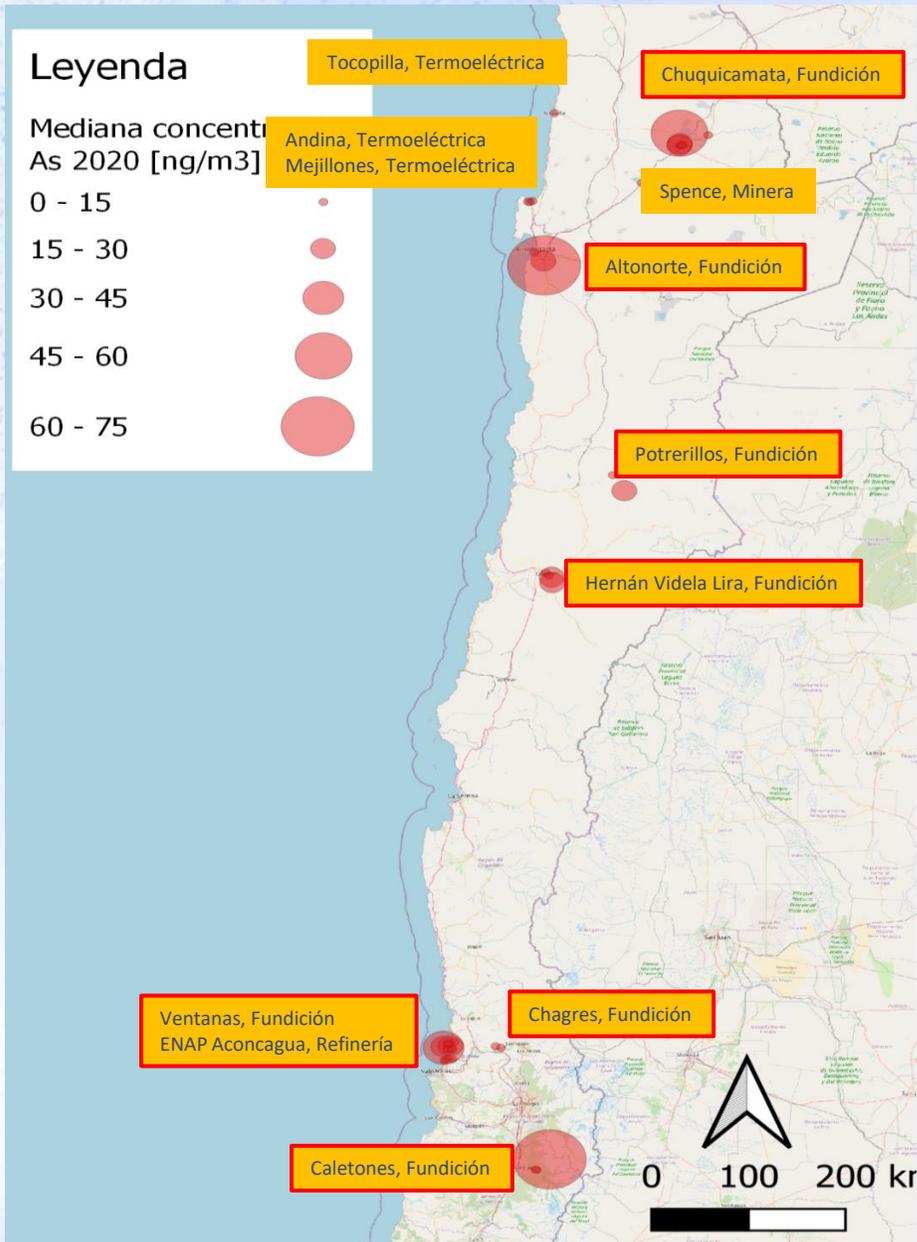
Efectos sobre la salud

El arsénico es un tóxico reconocido. En el cuerpo se distribuye ampliamente en la piel, pulmones, hígado, y riñones.

- **Corto plazo:** 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.
- **Largo plazo:** 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**.



Diagnóstico Calidad del aire (año 2020)



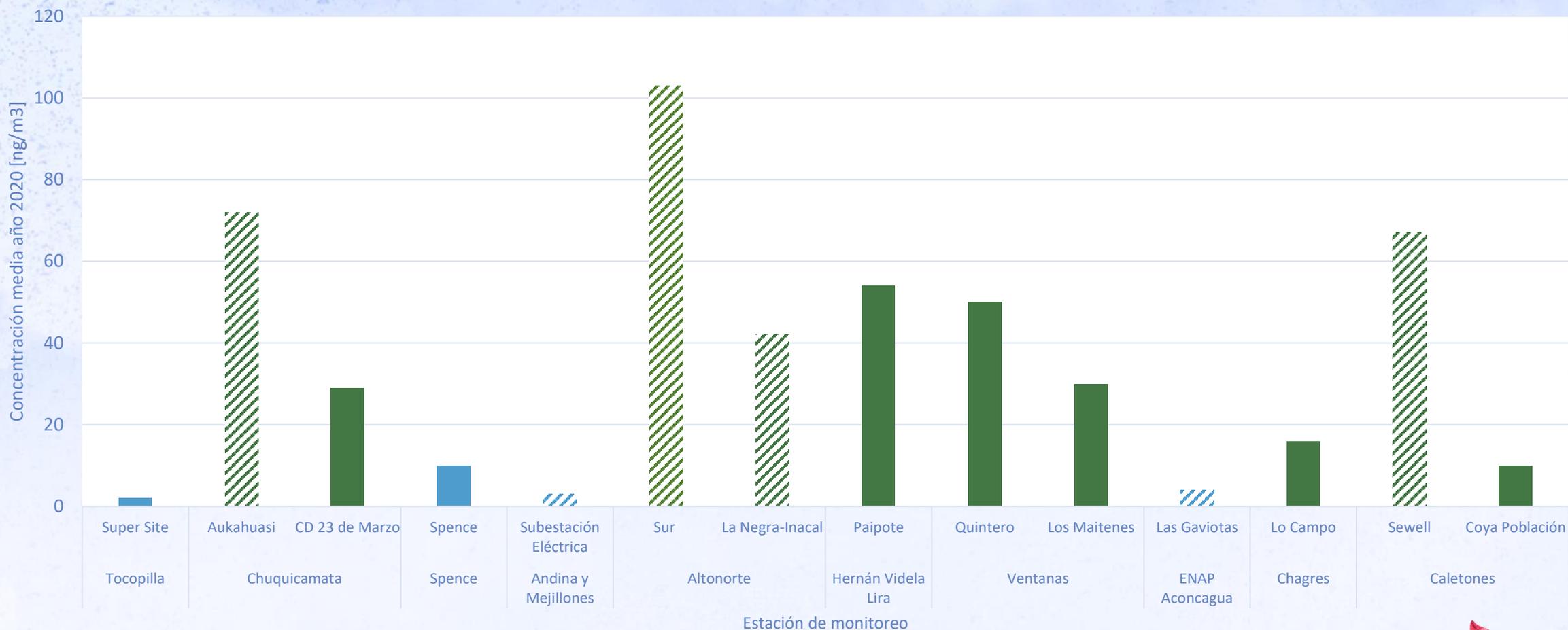
- El arsénico es medido a partir de muestras de material particulado, recolectadas por los equipos de monitoreo discreto (D.S. N°165/1998, MINSEGPRES y D.S. N°28/2013, MMA)
- Se recopiló información respecto a niveles de arsénico atmosférico para 45 estaciones.
- Ninguna cuenta con representatividad poblacional para arsénico.



Diagnóstico Calidad del aire:

Estaciones con mayores concentraciones de As [ng/m³N]

Concentración Promedio Anual de As [contenido en MP10] Año 2020



- Estación cercana a fundición, representativa para MP10
- ▨ Estación cercana a fundición, no representativa para MP10
- Estación cercana a otro tipo de fuente de As, representativa para MP10
- ▨ Estación cercana a otro tipo de fuente de As, no representativa para MP10

*Se excluye la estación Doña Inés (fundición Potrerillos), ya que se escapa del orden de magnitud (promedio anual = 1056 ng/m³)



Escenario regulatorio internacional

Internacional

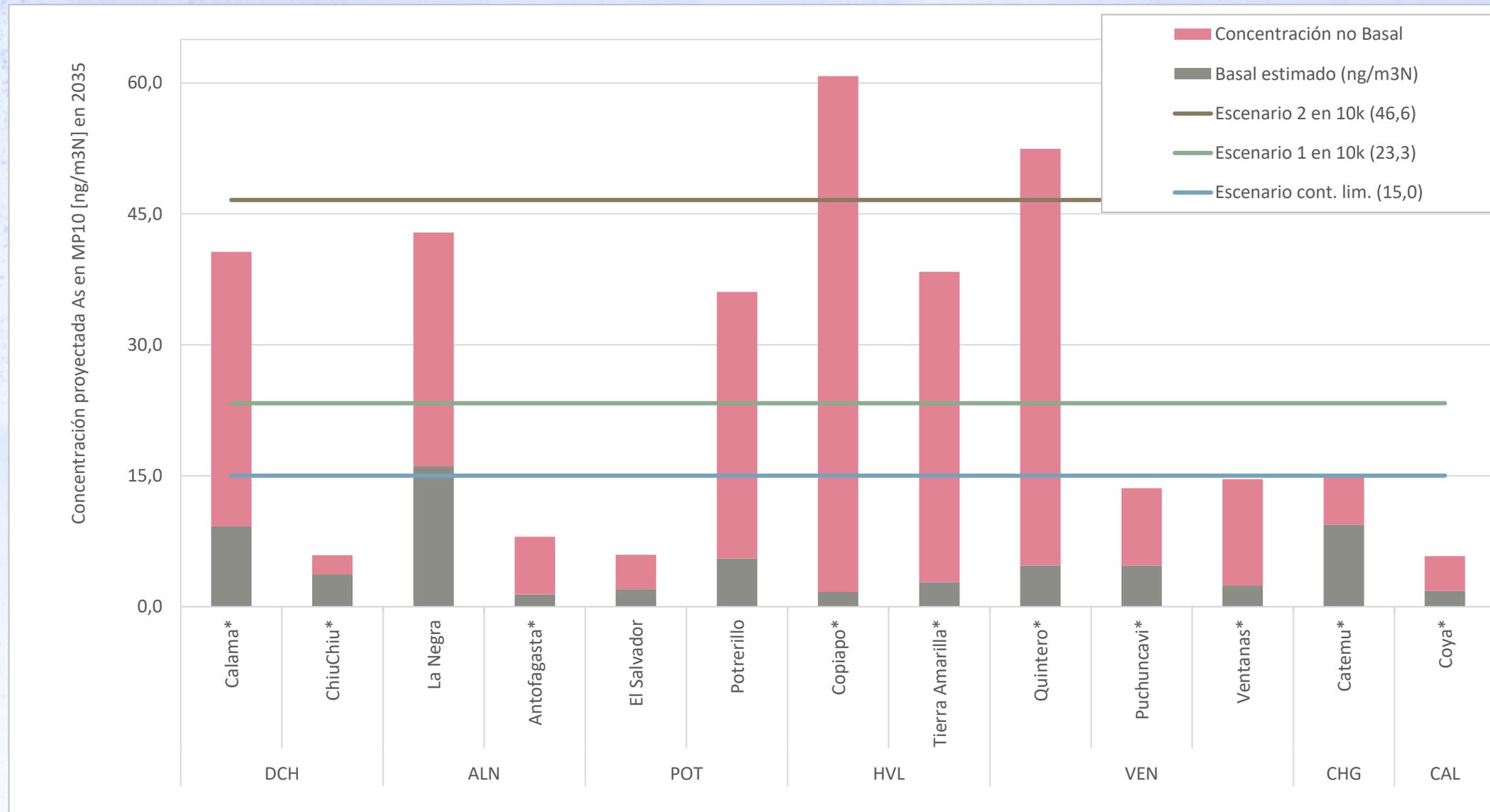
- La mayoría de los países analizados establecen los valores cercanos a 6 ng/Nm^3 (como “valor objetivo”), que corresponde al contenido promedio de As como fracción de MP10 durante un año (Directiva 2004/107/EC de la UE).
- Para el análisis exploratorio de los posibles escenarios regulatorios, el Criterio de toxicidad “Inhalation Unit Risk (IUR)” utilizado por la EPA, es el más conservador para la protección de la salud de las personas.
- Para un mismo nivel de riesgo el IUR EPA es más exigente que el valor que deriva del IUR de la OMS.

Nacional

- El D.S. N° 477/1994, del MINSAL, que establece la Norma Primaria de Calidad del Aire para arsénico, derogado el mismo año, establece un límite de $0,1 \text{ ug/m}^3\text{N}$ ($100 \text{ ng/m}^3\text{N}$) como concentración de 24 horas y $0,05 \text{ ug/m}^3\text{N}$ ($50 \text{ ng/m}^3\text{N}$) como concentración media aritmética anual.



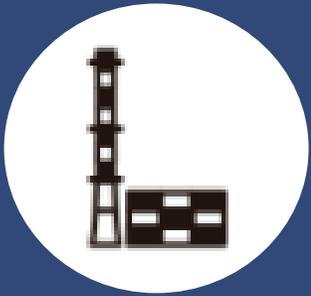
Escenarios regulatorios propuestos



*Localidad cuenta con estación con representatividad de MP10.

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





DIAGNÓSTICO FUENTES EMISORAS

- 99% emisiones Antropogénicas a nivel nacional proviene de las Fundiciones

- El As es medido a partir de muestras de material particulado, recolectadas por los equipos de monitoreo discreto

- Mayores concentraciones de As se observan en torno a las fundiciones (10 - 54 ng/m³)

- Concentraciones en zonas sin Fundiciones bordean entre 1 y 10 ng/m³



EFFECTOS EN SALUD

-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 .

-Afecta la mayoría de los procesos celulares y funciones de los órganos humanos.

- Exposición en corto plazo no se ven en ambientes comunitarios, sino solamente en exposiciones ocupacionales.

- Exposición en largo plazo puede provocar CÁNCER PULMÓN



ESCENARIO REGULACIÓN INTERNACIONAL

-La mayoría de los países analizados tiene como valor objetivo EU/OMS (~6ng/m³ anual)

- Coeficientes de riesgo unitario por inhalación (IUR) y Criterios de toxicidad.

- El D.S. N° 477/1994, del MINSAL (DEROGADO), establecía un límite de 0,05 ug/m³N (50 ng/m³N) como concentración anual.

ESCENARIOS REGULATORIOS

B/C
1,06

ESCENARIO 2 en 10k (46,6 ng/m³)

- Mejor relación costo-beneficio
- IUR más conservador (US-EPA).
- Riesgo equivalente al riesgo aceptado en la norma de arsénico en el agua potable
- Límite similar al establecido en el D.S. N° 477/1994, del MINSAL (DEROGADO).
- Podría no cumplir Fundiciones de HVL, Ventanas.

B/C
0,52

ESCENARIO 1 en 10k (23,3 ng/m³)

- IUR más conservador (US-EPA).
- Abarca fundiciones más contaminantes
- Más beneficioso en términos de riesgo que escenario 2 en 10k.
- Podría no cumplir Fundiciones de Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.

B/C
0,04

ESCENARIO CONTR. LIMITADA (15 ng/m³)

- Más precautorio, riesgo incremental equivalente a 6,7 en 100k, es decir, 0,67 casos en 10k durante toda la vida.
- Nivel basal de As estimado estadísticamente
- Podría no cumplir Fundiciones de Chuquicamata, Altonorte, HVL, Ventanas.
- Fundición Chuquicamata debe bajar su producción (20%)
- Escenario demasiado costoso considerando realidad actual del país.

← ANTECEDENTES NPCA ARSÉNICO →

Conclusiones

- Considerando que Norma Calidad del Agua potable para arsénico:
NCH409/1 en 0,01 mg/L → Riesgo de $2e-4$ → Escenario 2 en 10.000 (46,6 ng/m³).
Drinking Water Unit Risk ($5e-5$ per ug/L).
Exposición calculada con supuestos típicos.
- Que el Criterio de toxicidad “Inhalation Unit Risk (IUR)” utilizado por la EPA, es el más conservador para la protección de la salud de las personas.
- US-EPA típicamente considera riesgos cancerígenos entre 1 en 10.000 ($1e-4$) y 1 en 1.000.000 ($1e-6$).
- OMS considera un riesgo aceptable de 1 en 100.000 ($1e-5$), que corresponde a 6,7 ng/m³. (OMS, 2001). Sin embargo, los niveles basales de arsénico estimados en algunas estaciones con EMRP10 bordea los 9 ng/m³, lo que hace imposible por la realidad nacional este valor objetivo.
- Se propone apuntar como posible regulación el escenario de contribución limitada (15 ng/m³) o escenario con riesgo de 1 en 10.000 (23,3 ng/m³).



¿Preguntas?



Ministerio del
Medio
Ambiente

Gobierno de Chile

