



# Norma de Emisión para Calderas

## Comité Operativo Sesión N°3

División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente

5 de septiembre de 2024

# Tabla de sesión

## Temario

- Confirmados en Comité Operativo Ampliado
- Antecedentes del estudio de Calderas (DICTUC)



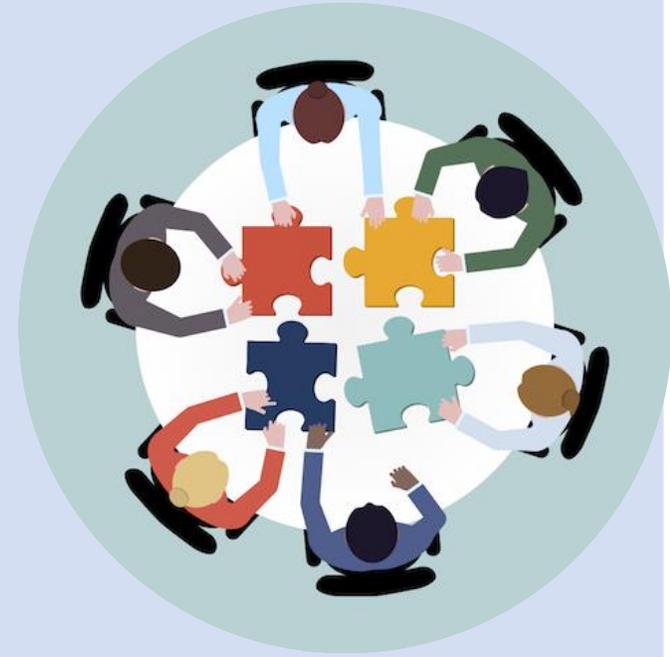
# Comité Operativo Ampliado

## Reglamento para Dictación de Normas de Calidad Ambiental y Emisión

D.S. N° 38 de 2012, Art. 7º, inciso tercero.

“El Ministro podrá convocar, cuando lo estime pertinente, a un **Comité Operativo Ampliado** constituido por los integrantes del comité operativo y personas naturales o jurídicas, ajenas a la administración del Estado, que serán designados por el Ministro a propuesta del Comité Operativo.

El Ministro, o quien lo represente, presidirá y coordinará ambos Comités, debiendo levantar acta de los temas debatidos y de los acuerdos adoptados”



# Rol y funciones del Comités Operativo Ampliado

## FUNCIONES

Apoyar al Comité Operativo en materias específicas

Aportar antecedentes técnicos

Opinar sobre materias de la norma y su revisión, en relación al sector que se representa y su ámbito de acción

Generar recomendaciones y sugerencias a la norma

# Comité Operativo Ampliado



8 representantes de Ministerios

+

28 personas (natural o jurídica)

## Respondieron a invitación al COA

### Sector privado

1. Sofofa (asociación gremial)
2. Calderas Chile Ltda (empresa proveedora de calderas)
3. Vapor Industrial S.A (empresa proveedora de calderas)
4. Servimet Calderas Industriales Ltda (empresa proveedora de calderas)
5. Ursus Troter (empresa proveedora de calderas)
6. Bosch (empresa proveedora de calderas)
7. Recal Chile (empresa proveedora de calderas)
8. Anwo S.A (empresa proveedora de calderas)
9. Indu Vapor (empresa proveedora de calderas)
10. Proterm (empresas control de emisiones)
11. Ambiente y Tecnología (empresas control de emisiones)
12. Thorhauss Ltda (empresa Turbocalderas)
13. JGH Ambiental (muestreo y mediciones)
14. Cámara Chilena de la Construcción
15. Asociación de Industriales Pesqueros (ASIPES)
16. SONAMI
17. CORMA

### PAC 2017

1. Autoflame
2. IANSAGRO
3. CMPC
4. CAP Huachipato
5. ChileAlimentos
6. Asoc. Nac. de Cecinas

## Academia/consultoras

1. Colegio de Ingenieros
2. USM
3. USACH
4. UCHILE
5. PUC
6. DICTUC
7. Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile - AIC

## Sociedad Civil

1. FIMA
2. Chile sustentable
3. Fundación Terram
4. Asoc. de Municip. de Chile

## Entidades Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA)

1. Axis Ambiental
2. Mendez Asociados
3. Airón
4. ALS Global
5. Ecoingen
6. SERPRAM (Suez)
7. Ambiquim
8. AEEG Emissions
9. Airtestlab



# Solicitudes a ser parte del COA

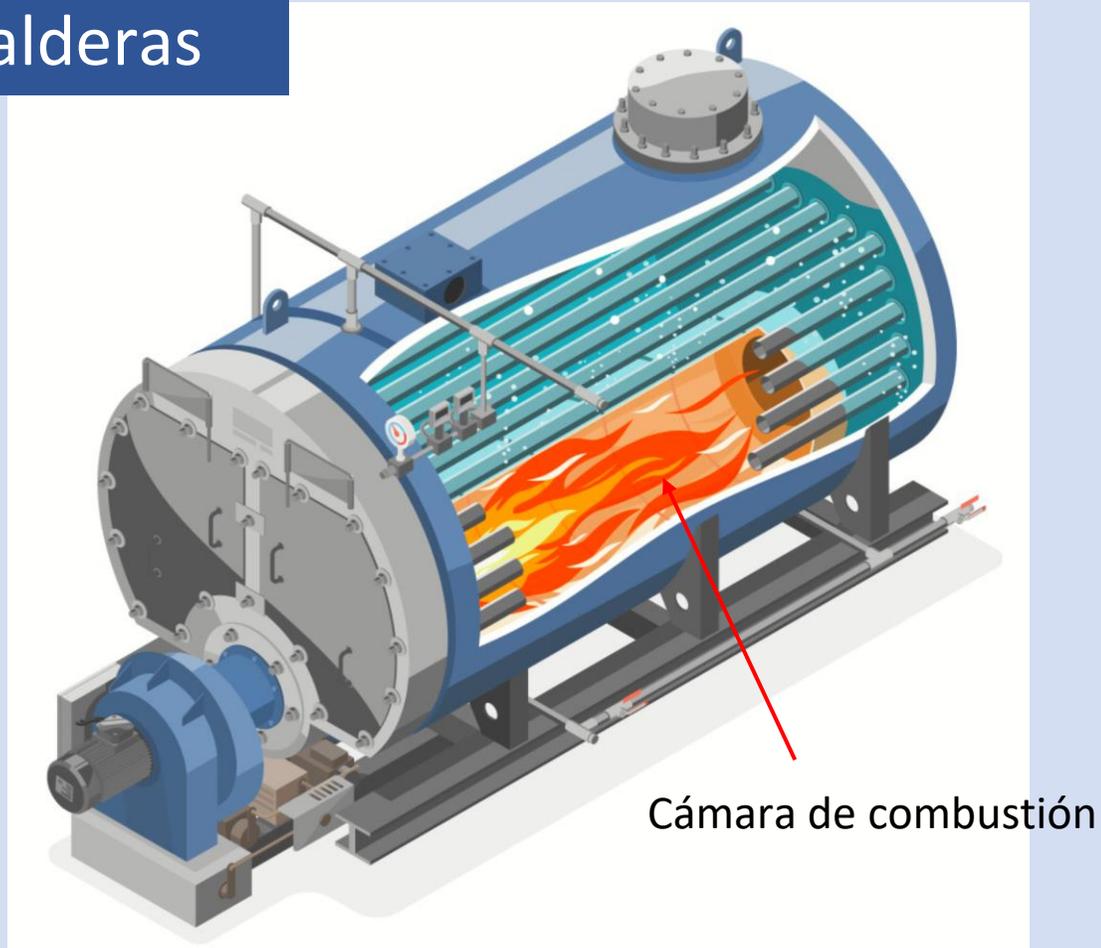
1) ENAP Biobío

2) Inspector Calderas

Empresa con 20 años en rubro del diseño, calculo, inspección, asesoría, certificación e inscripción de Calderas y Autoclaves en Chile acorde el DS10/2012 del MINSAL)



# Calderas



## 1. Combustión

**2. Transferencia de calor:** el gas caliente generado en el quemador pasa a través de una serie de tubos en el interior de la caldera. El agua que rodea estos tubos absorbe el calor de los gases, calentándose y convirtiéndose en vapor

**3. Salida de vapor o agua caliente:** el vapor (o agua) generado se dirige a través de tuberías hacia su uso final (calefacción, generación de energía, procesos industriales)

**4. Expulsión de Gases de Combustión:** los gases residuales de la combustión son expulsados a través del tubo de escape

Artefacto que se utiliza para calentar agua o generar vapor mediante la combustión de un combustible (también puede ser por electricidad)

# Tipos de Calderas

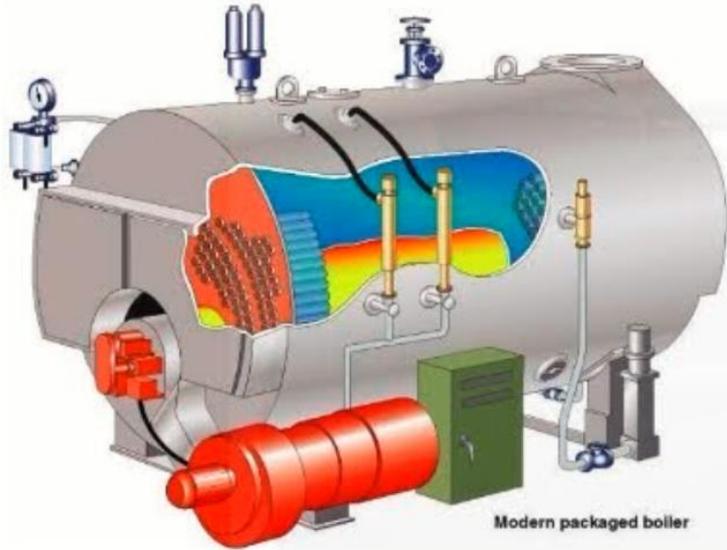


Tabla 4-4 Tipos de calderas registradas, por región

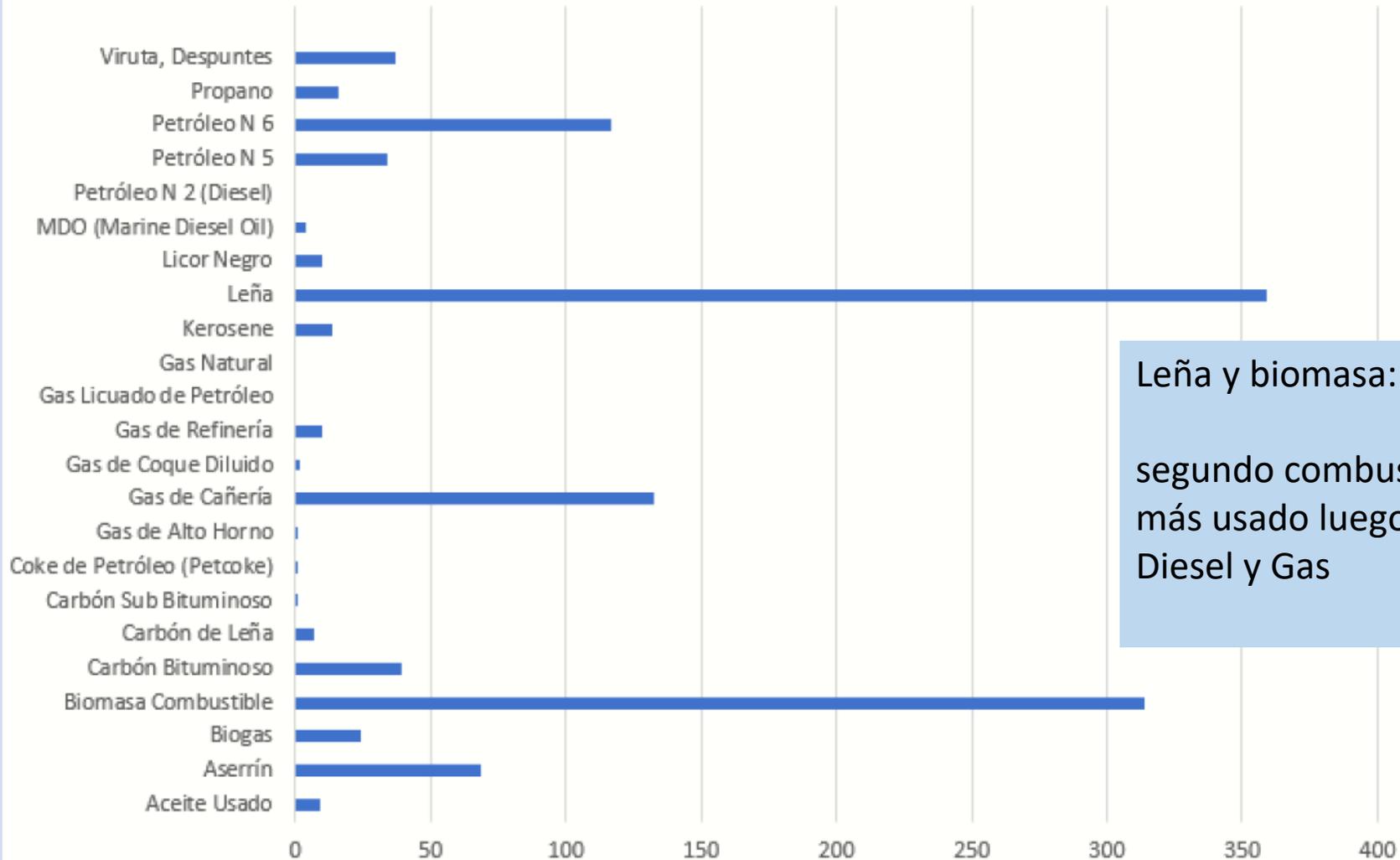
Región	Caldera Agua Caliente (de 0,001 a 895.510 MWt)		Caldera de Fluido Térmico (de 0,001 a 18.293 MWt)		Caldera de Generación Eléctrica (de 0,087 a 1.066 MWt)		Caldera Industrial (de 0,001 a 116.334 MWt)		Caldera Recuperadora (*)		Total Regional
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	
Arica y Parinacota	11	0,1%	2	1,4%		0%	19	1,2%		0%	32
Tarapacá	12	0,1%	2	1,4%	1	1,6%	25	1,6%		0%	40
Antofagasta	87	1,0%	12	8,4%	17	27,4%	99	6,3%		0%	215
Atacama	28	0,3%	4	2,8%	5	8,1%	13	0,8%		0%	50
Coquimbo	48	0,6%	1	0,7%		0,0%	29	1,9%		0%	78
Valparaíso	251	3,0%	19	13,3%	10	16,1%	87	5,6%		0%	367
<b>Metropolitana de Santiago</b>	<b>4.598</b>	<b>54,5%</b>	<b>64</b>	<b>44,8%</b>	<b>4</b>	<b>6,5%</b>	<b>488</b>	<b>31,3%</b>		<b>0%</b>	<b>5.154</b>
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	178	2,1%	1	0,7%		0%	120	7,7%		0%	299
Maule	282	3,3%	6	4,2%	2	3,2%	98	6,3%	2	33,3%	390
Ñuble	165	2,0%	3	2,1%	2	3,2%	47	3,0%	1	16,7%	218
Biobío	406	4,8%	11	7,7%	15	24,2%	175	11,2%	2	33,3%	609
Araucanía	614	7,3%	6	4,2%	3	4,8%	43	2,8%		0,0%	666
Los Ríos	589	7,0%	3	2,1%	1	1,6%	38	2,4%	1	16,7%	632
Los Lagos	776	9,2%	5	3,5%		0%	138	8,8%		0%	919
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	196	2,3%		0%		0%	3	0,2%		0%	199
Magallanes y de la Antártica Chilena	193	2,3%	4	2,8%	2	3,2%	139	8,9%		0%	338
<b>Total país</b>	<b>8.434</b>	<b>100%</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>1.561</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>10.206</b>

Fuente: Elaboración propia en base a Base de Datos consolidada. RETC 2022 y RFP 2023.

## Participación tipos de combustibles que utilizan las calderas

(En Cantidad de calderas)

(Se excluye Petróleo N°2, GLP y GN, para mejor visualización de los otros combustibles)



Leña y biomasa:

segundo combustible  
más usado luego de  
Diesel y Gas

## Cálculo de Emisiones

- Horas de operación
- Consumo de combustible

$$\text{Emisión (ton/año)} = \text{Factor de Emisión} * \text{Nivel de Actividad}$$

- Combustible
- Potencia de la Caldera

Material Particulado  
SO<sub>2</sub>  
NO<sub>x</sub>  
CO  
Hg



## **GENERACIÓN DE ANTECEDENTES QUE PERMITAN ACTUALIZAR LA PROPUESTA DE UNA NORMA DE EMISIÓN PARA CALDERAS**

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

# Contenido

- ❑ Antecedentes y justificación del estudio
- ❑ Objetivos del estudio
- ❑ Descripción del Mercado Nacional
- ❑ Inventario de calderas y emisiones
- ❑ Tendencia normas internacionales
- ❑ Normativa nacional relacionada a calderas
- ❑ Tecnologías de control de emisiones
- ❑ Escenarios Normativos
- ❑ Propuesta de fiscalización
- ❑ Proyección emisiones
- ❑ Propuesta de medidas de control de emisiones
- ❑ Costos y beneficios
- ❑ Conclusiones del estudio

# ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



5

# Antecedentes y justificación del Estudio

- La norma de emisión para calderas cuenta con una **propuesta de proyecto definitivo (PD)** enviado en **marzo de 2018** al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático.
- El **proceso para la dictación de la norma se inició en 2013** y se denominó **Norma de emisión para calderas y procesos de combustión**. Se desarrollaron **3 estudios técnicos**, 8 reuniones de Comité Operativo y 3 reuniones de Comité Operativo Ampliado.
- La Norma de emisión tiene por **objetivo controlar las emisiones al aire proveniente de las calderas**, a fin de prevenir y proteger la salud de las personas y el medio ambiente, considerando su aplicación **nacional**.
- El diseño regulatorio se enfoca principalmente en **establecer límites de emisión en la chimenea de la caldera**, para las **calderas nuevas y existentes de mayor potencia térmica (1 MWt)**, que cuentan con las mayores emisiones.
- Actualmente, existe la disposición de reactivar el proceso, no obstante, después de los más de 4 años desde la elaboración del PD, se requiere el desarrollo de un estudio que **actualice todos los antecedentes** necesarios para el adecuado diseño regulatorio, **revise la vigencia de los valores normativos propuestos**, y actualice los antecedentes para la **elaboración del AGIES**, tales como la base de datos y los antecedentes económicos de los equipos de control de emisiones, entre otros.

## OBJETIVOS

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



7

# Objetivos del estudio

## □ Objetivo general:

El presente estudio está orientado a **generar los antecedentes que permitan actualizar la propuesta de una norma de emisión para calderas**, realizando un análisis y recomendaciones que permitan apoyar la formulación de la norma para calderas del sector industrial, comercial y residencial.

## □ Objetivos específicos:

- a) Elaborar un análisis de la **tendencia de la regulación internacional** respecto de calderas, comparar con la **normativa nacional** y la **propuesta contenida en el proyecto definitivo**.
- b) Realizar una **descripción y análisis del mercado nacional** respecto a rubros que utilizan calderas, disponibilidad de combustibles y tipos de calderas comercializadas en el país.
- c) **Identificar mejores técnicas o tecnologías de control de emisiones** para calderas.
- d) Desarrollar una **base de datos a nivel nacional de calderas y sus respectivas emisiones**.
- e) **Analizar el cumplimiento normativo actual** vinculado a calderas en los **planes de descontaminación** y la **sinergia** entre una futura norma de emisión y los PPDAs. También un **análisis sobre las emisiones típicas** en zonas sin PPDAs.
- f) **Proponer y justificar nuevos escenarios normativos** para el uso de calderas a nivel nacional.
- g) **Evaluar costos y beneficios** asociados a la aplicación de las propuestas regulatorias para calderas a nivel nacional.
- h) Presentar resultados del estudio.

# DESCRIPCIÓN DEL MERCADO NACIONAL

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



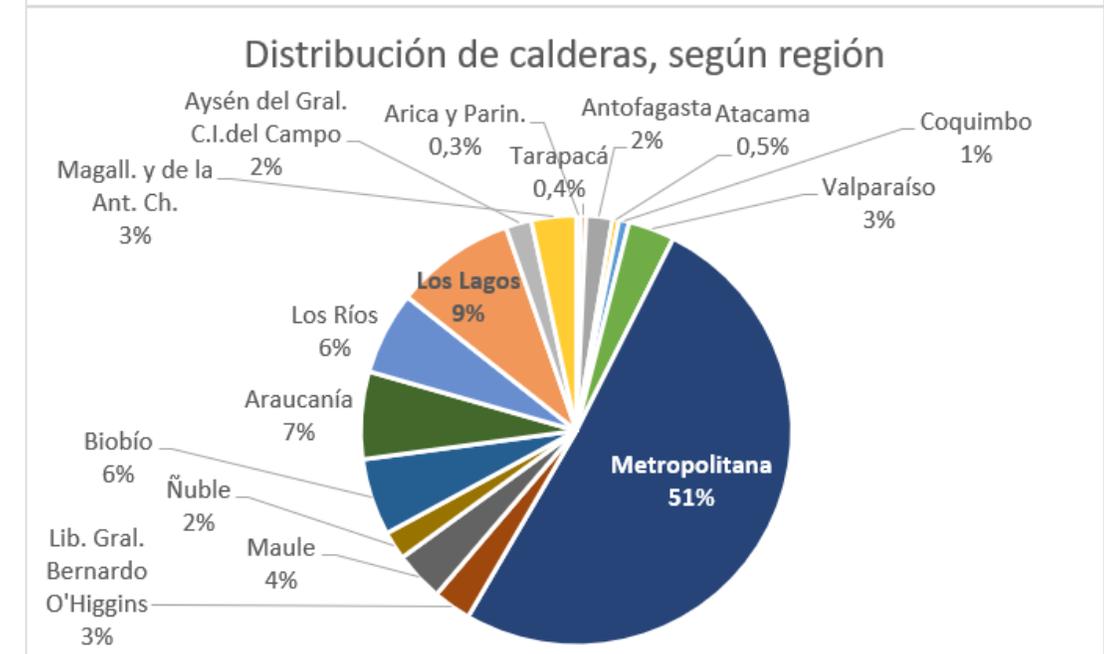
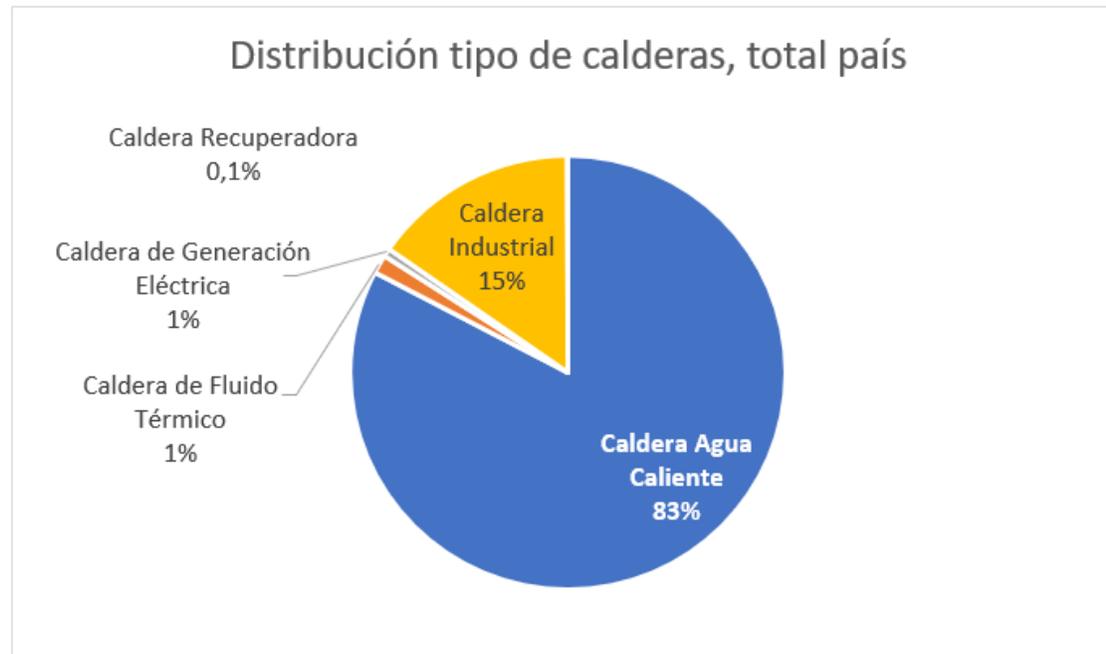
9

# Descripción del Mercado Nacional

- Se realizó una recopilación de información de las siguientes fuentes:
  - a) Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), Registro Único de Emisiones Atmosféricas (RUEA): registros de calderas, combustibles utilizados y sus emisiones atmosféricas estimadas, correspondiente a las bases de datos del 2021 y del 2022.
  - b) Servicio Nacional de Aduanas: registros de importaciones de calderas y repuestos, partes y piezas ingresadas al país, correspondientes al período 2018 al 2023.
  - c) Estudio efectuado por el Centro Mario Molina (CMM), con información de emisiones atmosféricas estimadas, 2021.
  - d) Registro de Fuentes y Procesos (RFP): catastro único de fuentes de emisión (de grupos electrógenos, calderas, hornos, etc.), que deben dar cumplimiento a diversas obligaciones de normativas de emisión atmosféricas (como como: Normas de Emisión y Planes de Descontaminación), correspondiente al 2023.

# Descripción del Mercado Nacional – nacional y regional

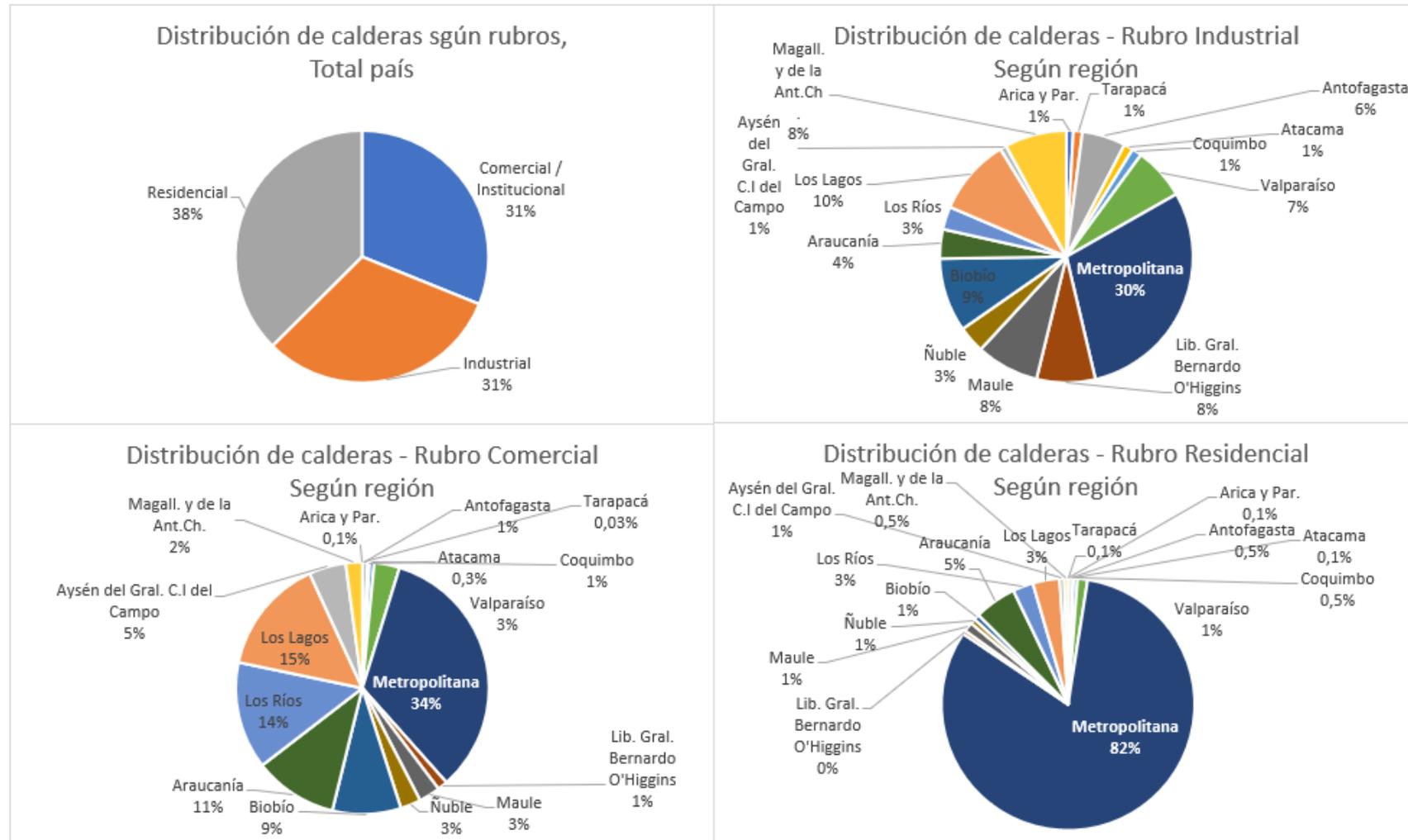
- Distribución de tipos de calderas en el país y distribución regional



Fuente: Elaboración propia, con Base de datos consolidada. RETC 2022 y RFP 2023.

# Descripción del Mercado Nacional – por rubro, nacional y regional

- Distribución de tipos de calderas por rubros y distribución regional



Fuente: Elaboración propia, con Base de datos consolidada. RETC 2022 y RFP 2023.

# INVENTARIO DE CALDERAS Y EMISIONES

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



13

## Catastro nacional de calderas

- Se consolidaron las bases de datos de fuentes del RETC 2022 y el Registro de Fuentes y Procesos 2023.
- Se identificaron 10.147 calderas a nivel nacional.

Fuente de información	Cantidad de calderas
RETC	162
RFP	2.971
Ambos	7.014
<b>Total</b>	<b>10.147</b>

Fuente: Elaboración propia

## Catastro nacional de calderas – Correcciones a base de datos original

- Existe un grado de incompletitud e inconsistencia relevante en las fuentes de información utilizadas.
- Para obtener los datos a utilizar en el inventario de emisiones, se realizó lo siguiente:

- Completitud de datos faltantes:

Campo de información	Cantidad de fuentes	Corrección realizada
Consumo combustible	2.971	$Consumo = FP_{promedio} \cdot Consumo\ nominal$
Horas operación anuales	3.038	$horas\ operación = FP[\%] \cdot 8.760$
Potencia	956	$Potencia\ estimada = Consumo\ nominal \cdot Poder\ Calorífico$

Fuente: Elaboración propia

- Corrección de datos:

Campo	Filtro para considerar error	Cantidad de fuentes	Corrección realizada
Consumo combustible	$FP > 1$	473	$Consumo\ corregido = \frac{FP_{promedio}}{FP_{fuente}} \cdot Consumo$
	$FP_{promedio} - 2\sigma > FP > FP_{promedio} + 2\sigma$	97	$Consumo\ corregido = \frac{FP_{promedio}}{FP_{fuente}} \cdot Consumo$
Horas operación anuales	$Horas\ declaradas > 8.760$ $Horas\ estimadas > 8.760$	4	Fuentes excluidas
	$Horas\ declaradas > 8.760$ $Horas\ estimadas \leq 8.760$	30	$Horas\ operación = FP[\%] \cdot 8.760$
Potencia	$Potencia\ declarada > Percentil\ 95$ $Potencia\ estimada > Percentil\ 95$	238	Fuentes excluidas
	$Potencia\ declarada > Percentil\ 95$ $Potencia\ estimada \leq Percentil\ 95$	300	$Potencia\ corregida = \frac{Potencia \cdot FP}{0,5}$

Fuente: Elaboración propia

## Catastro nacional de calderas – Calderas cogeneradoras

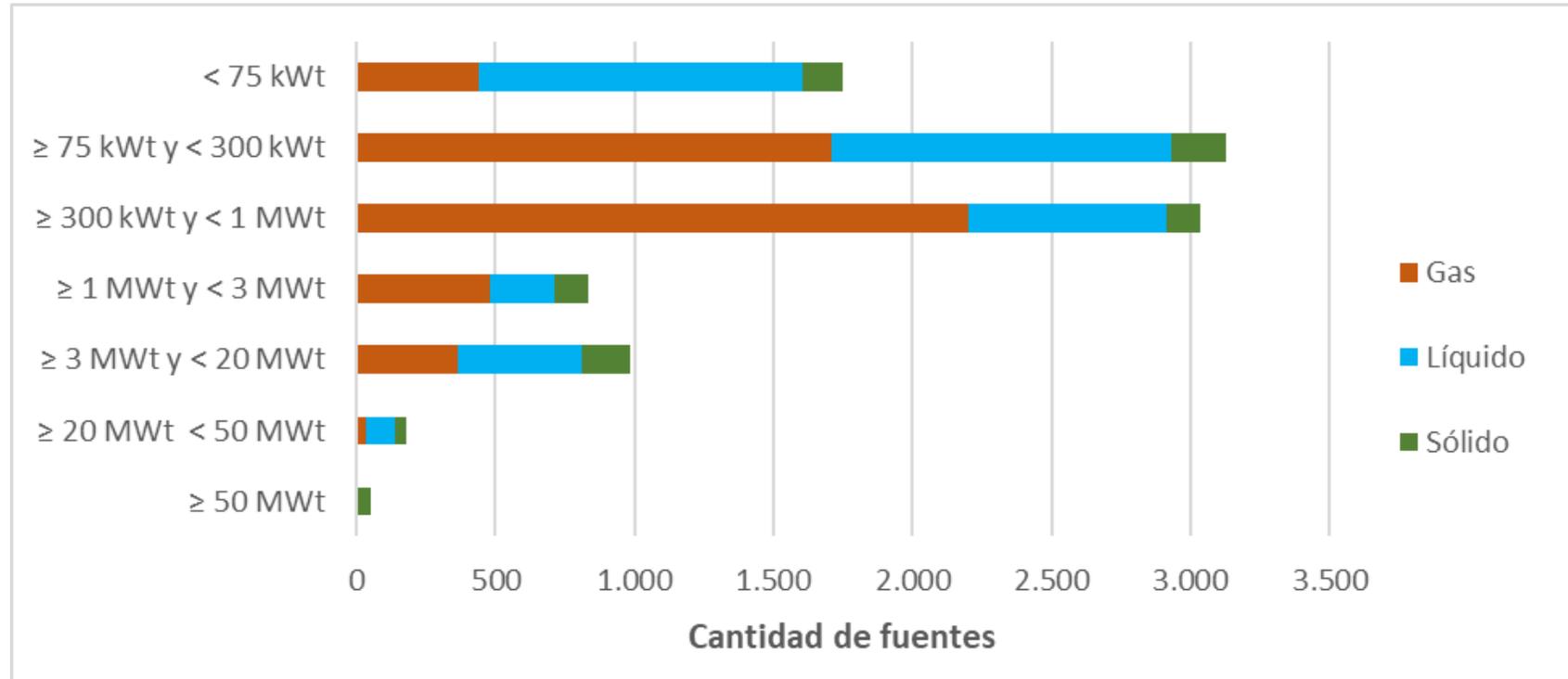
- Hay 9 calderas cogeneradoras de las 20 del listado elaborado por el Ministerio de Energía que no fueron identificadas.
  - Se decide, para las 4 calderas de esas 9 que tienen una potencia mayor a 50 MW, **agregarlas a la base de datos** junto con la información que recopiló el Ministerio de Energía para dichas calderas.

Empresa	Establecimiento	Región	Comuna	Combustible	Potencia (MW)
CMPC PULP SPA.	CMPC Laja	Biobío	Laja	Biomasa Combustible	112,35
CMPC PULP SPA.	CMPC Pacífico	Araucanía	Collipulli	Biomasa Combustible	91,67
MADERAS ARAUCO S.A.	Vinales	Maule	Constitución	Biomasa Combustible	61,11
NORACID S.A.	PAM	Antofagasta	Mejillones	Petróleo N 2 (Diesel)	51,17

Fuente: Elaboración propia

## Catastro nacional de calderas – Cantidad de calderas

- El inventario de emisiones es elaborado con **9.960 calderas**.
- Cantidad de calderas por rango de potencia y estado del combustible:



Fuente: Elaboración propia

## Inventario de emisiones

### □ Estimación de emisiones:

$$Emisiones_k = FE_k \cdot NA \cdot \left(1 - \frac{Ea}{100}\right)$$

### □ Donde:

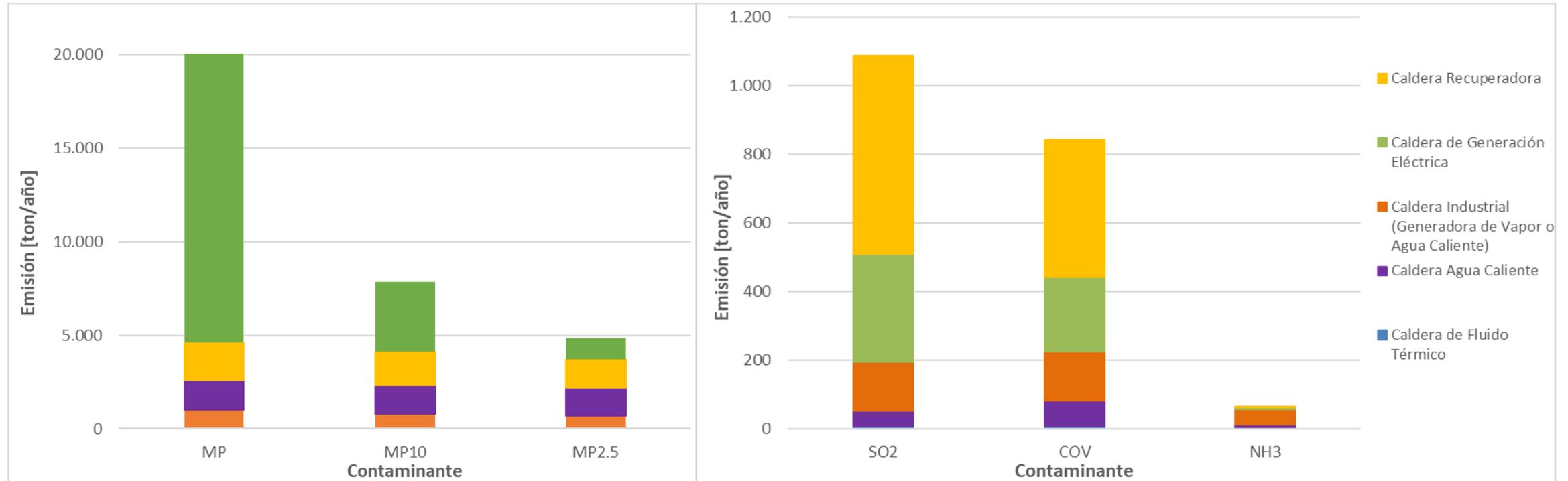
- $Emisiones_k$ : Emisiones del contaminante “k” [t]
- $FE_k$ : Factor de emisión para el contaminante “k”
- $NA$ : Nivel de actividad
- $Ea$ : Eficiencia de abatimiento [%]

### □ Fuentes de información:

- FE: Compilados de “Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales” (MMA, 2019).
- NA: Consumos de combustible corregidos en ton/año, obtenidos de bases de datos RETC y RFyP.
- Eficiencia de abatimiento: Obtenido de RETC.

## Inventario de emisiones 2022 – Por tipo de caldera

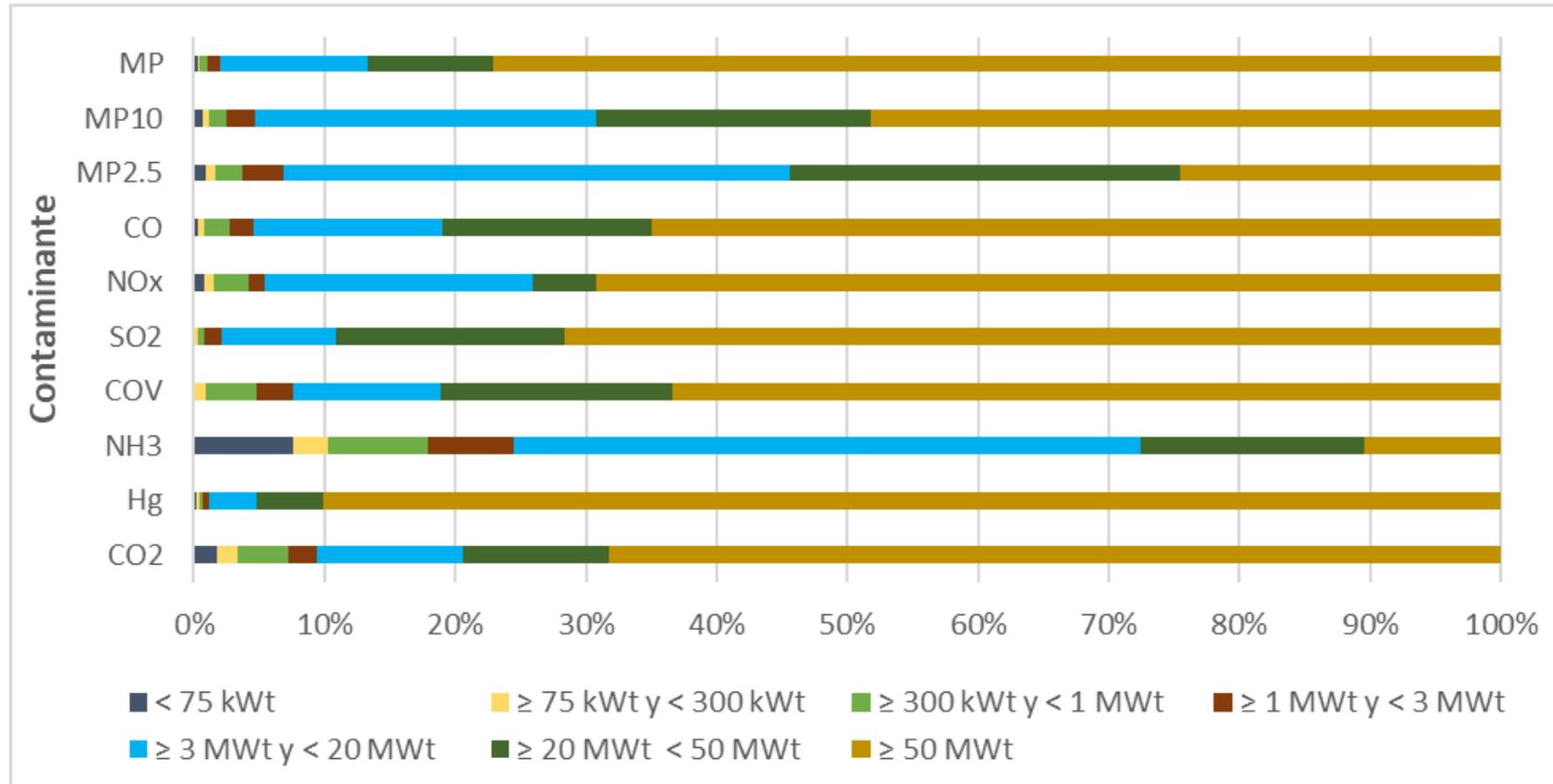
- Emisiones de material particulado, SO<sub>2</sub>, COV y NH<sub>3</sub>:



Fuente: Elaboración propia

## Inventario de emisiones 2022 – Por rango de potencia

- Distribución de emisiones por rango de potencia:



Fuente: Elaboración propia

# TENDENCIA NORMAS INTERNACIONALES

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



21

# Análisis regulación internacional

- Elementos de las calderas que provocan diferencias entre los límites establecidos:
  - Clasificación según **combustible**: Se agruparon por estado de combustible (sólido, líquido y gaseoso).
  - Clasificación según **antigüedad** de la fuente: Nuevas o existentes.
  - Clasificación según **tamaño**: Se agruparon por rangos de potencia.

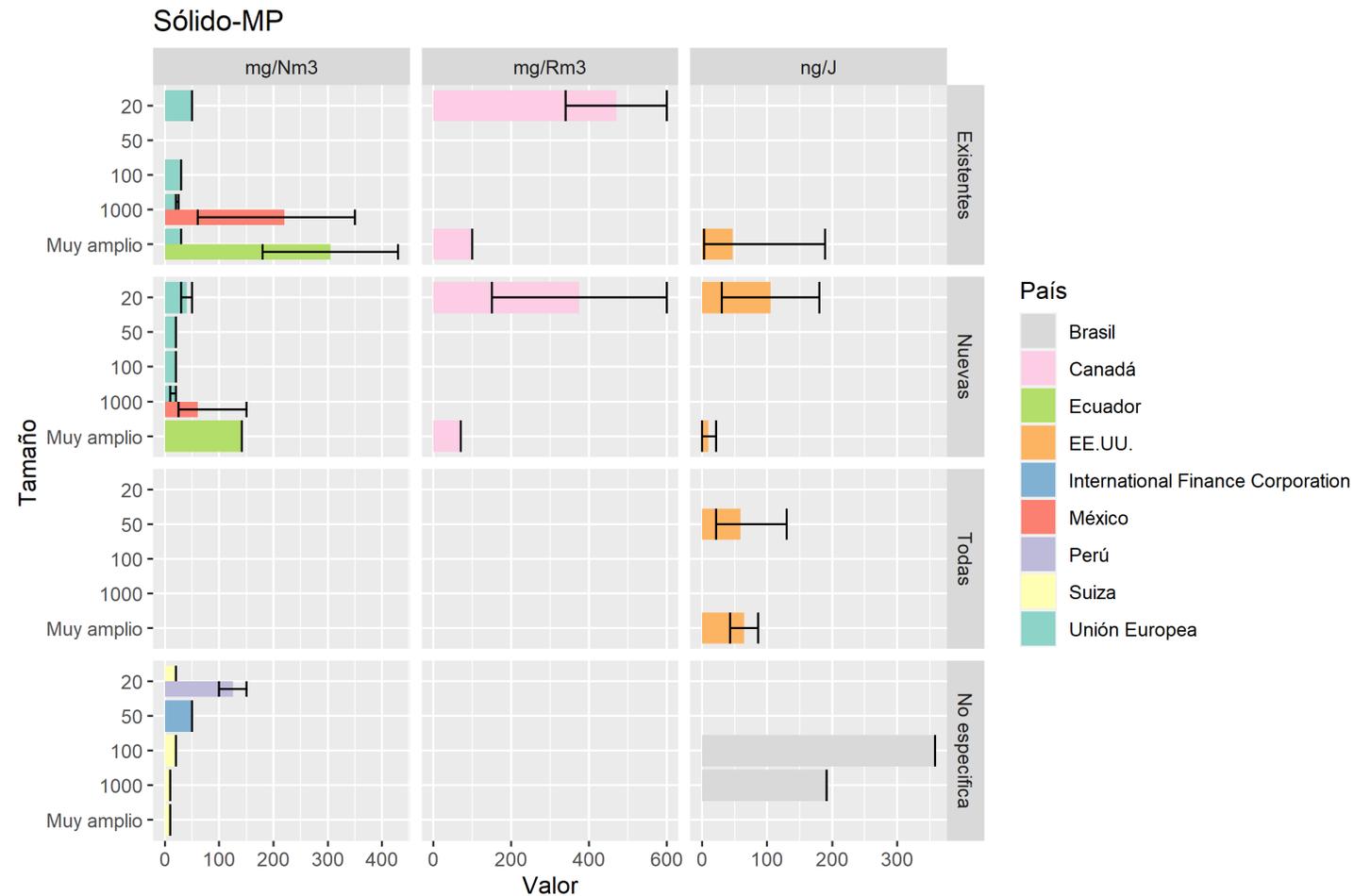
Tamaño	Límite inferior (MWt)	Límite superior (MWt)	Número de regulaciones
Hasta 20	0 - 10	20	17
Hasta 50	0-20	50	8
Hasta 100	0 - 50	100	5
Hasta 1000	30 - 300	1000	8
Muy Amplio	NA	NA	12

Fuente: Elaboración propia

- **Unidades de medida**: Se unificaron todos los límites, en las unidades equivalentes más repetidas en las normas: mg/Nm<sup>3</sup>, ng/J y ppmv.

# Análisis regulación internacional – MP – Combustible sólido

- Límite de emisión de MP para calderas con combustible sólido según tamaño de caldera y antigüedad.

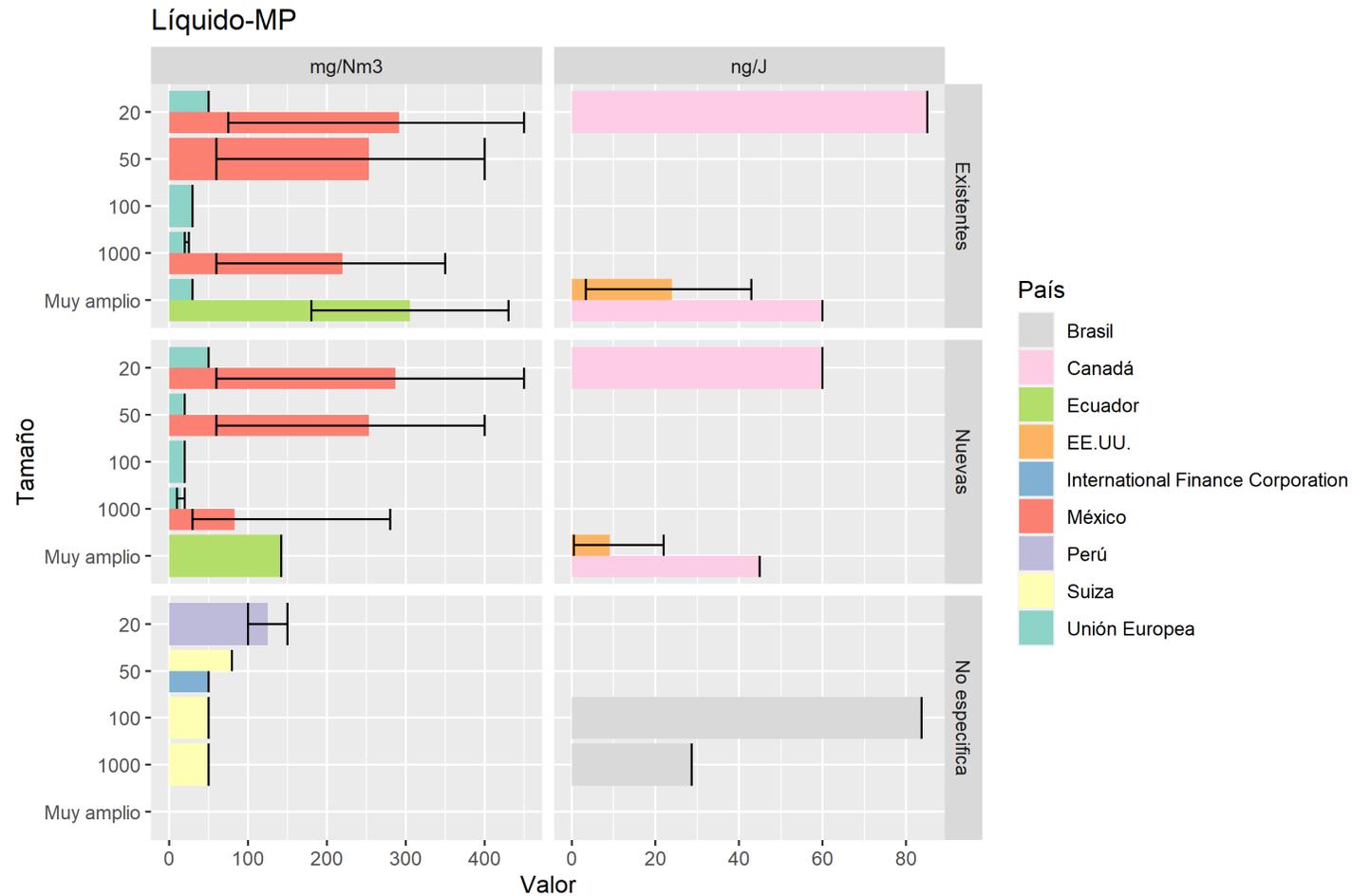


Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# Análisis regulación internacional – MP – Combustible líquido

- Límite de emisión de MP para calderas con combustible líquido según tamaño de caldera y antigüedad.

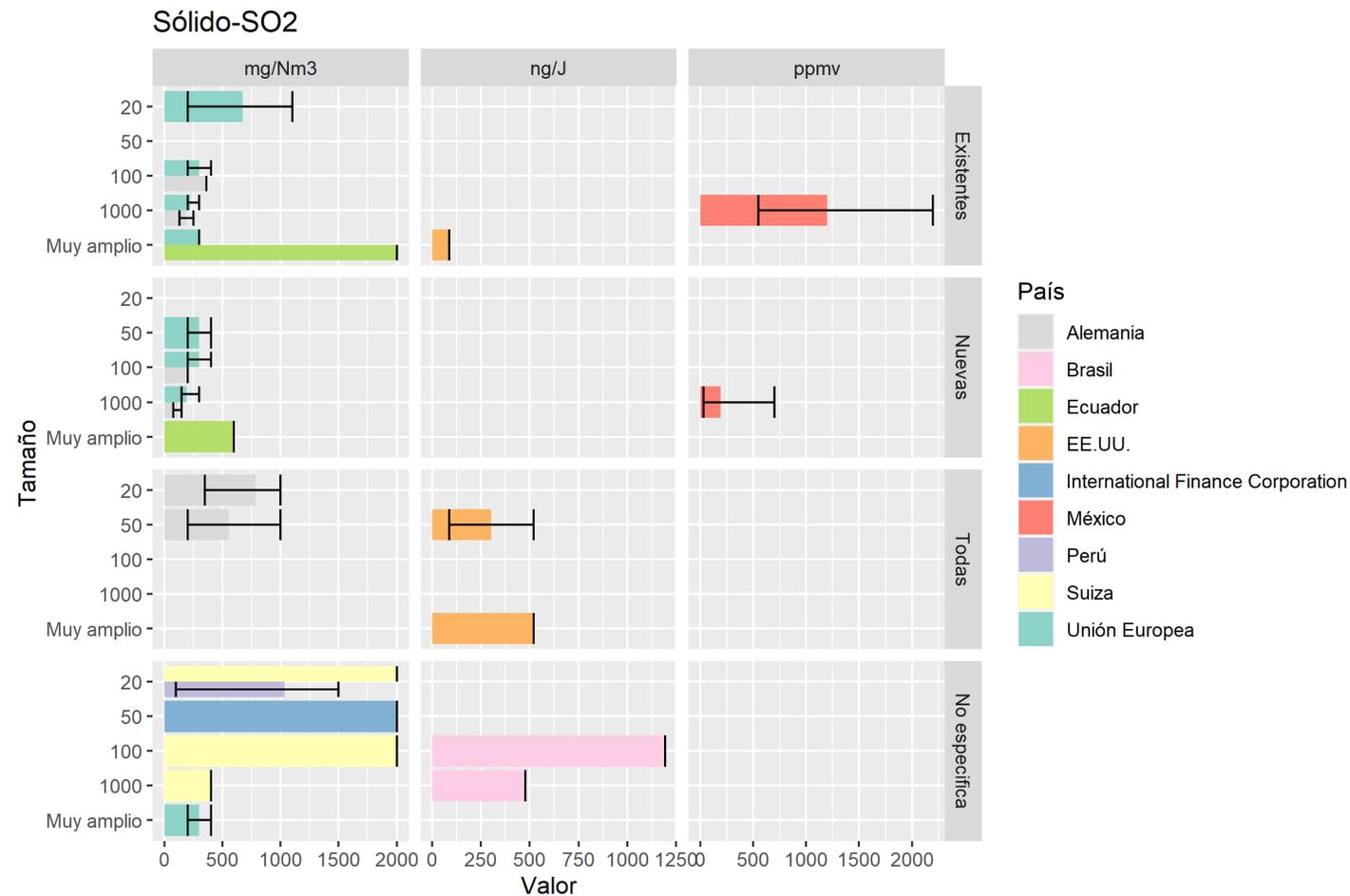


Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# Análisis regulación internacional – SO<sub>2</sub> – Combustible sólido

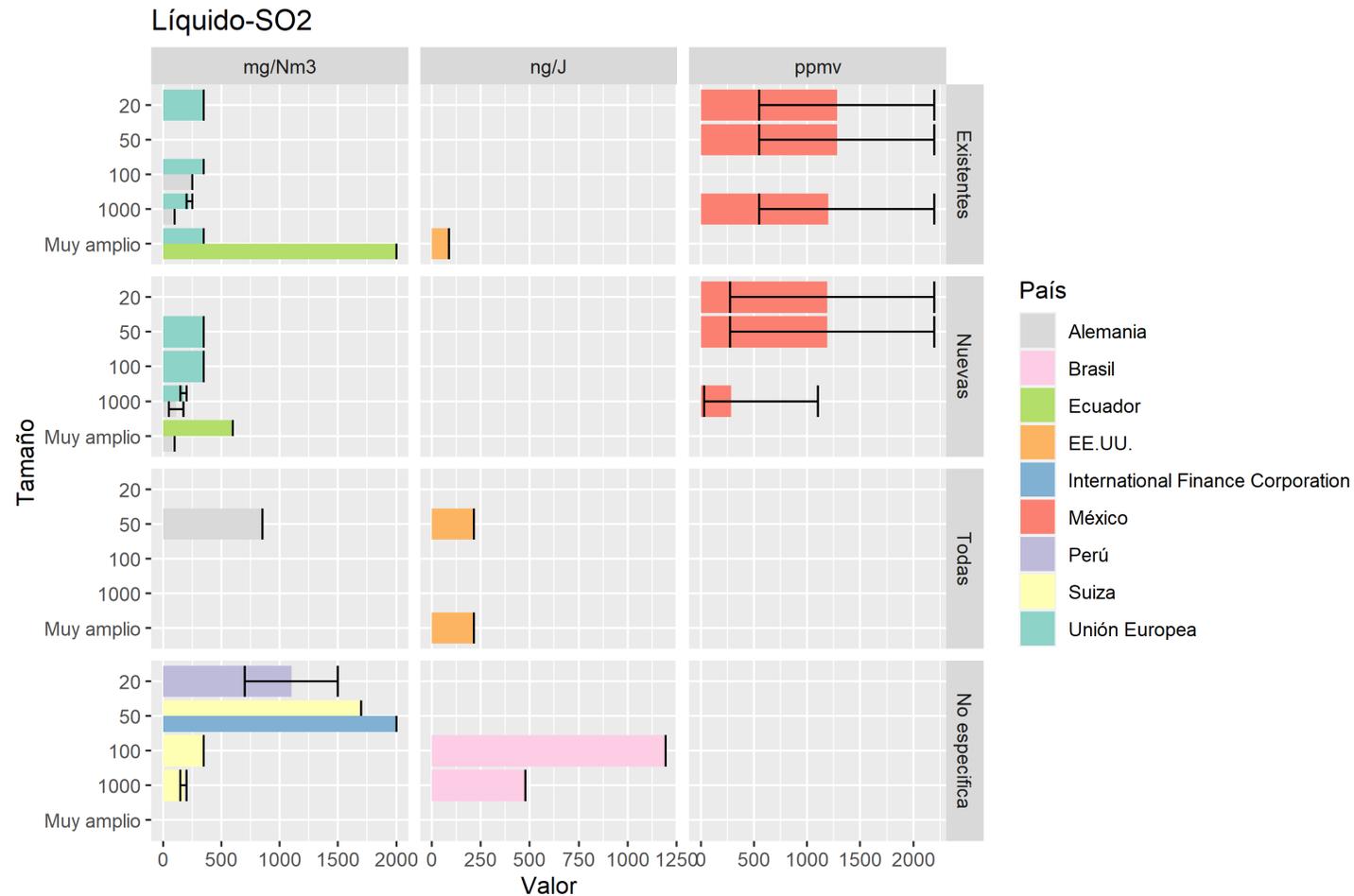
- Límite de emisión de SO<sub>2</sub> para calderas con combustible sólido según tamaño de caldera y antigüedad.



Fuente: Elaboración propia

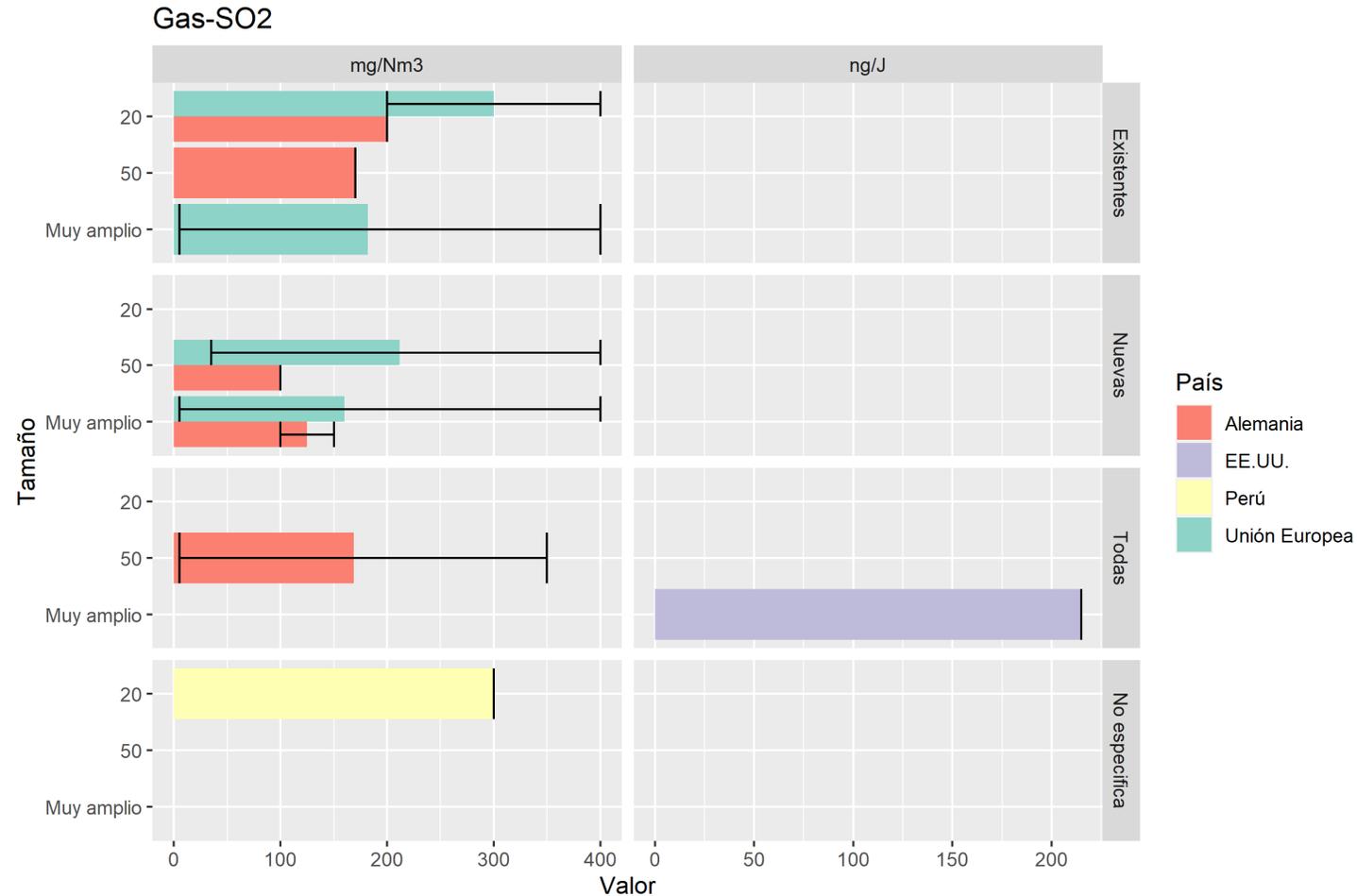
# Análisis regulación internacional – SO<sub>2</sub> – Combustible líquido

- Límite de emisión de SO<sub>2</sub> para calderas con combustible líquido según tamaño de caldera y antigüedad.



# Análisis regulación internacional – SO<sub>2</sub> – Combustible gaseoso

- Límite de emisión de SO<sub>2</sub> para calderas con combustible gaseoso según tamaño de caldera y antigüedad.

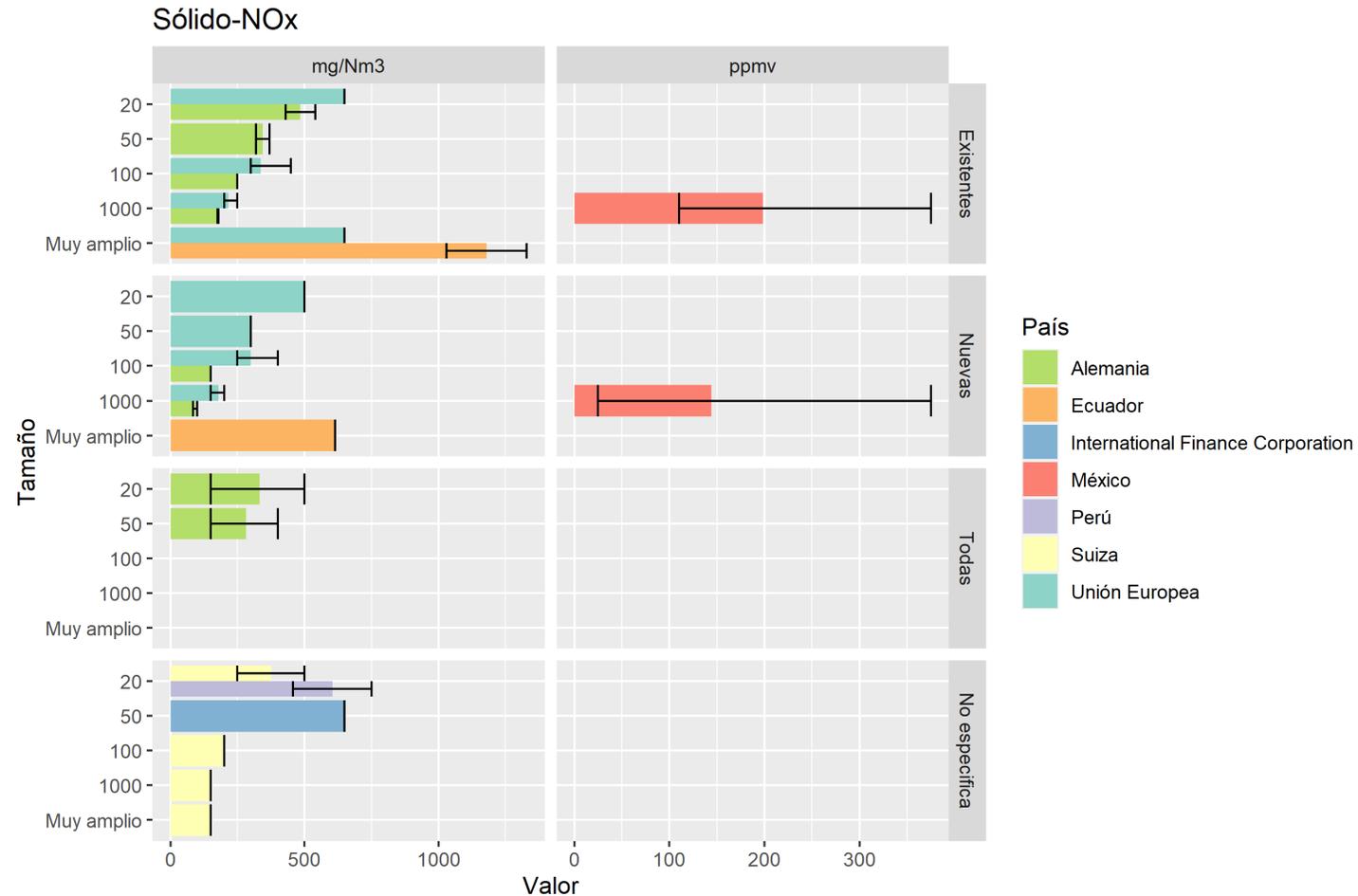


Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# Análisis regulación internacional – NOx – Combustible sólido

- Límite de emisión de NOx para calderas con combustible sólido según tamaño de caldera y antigüedad.

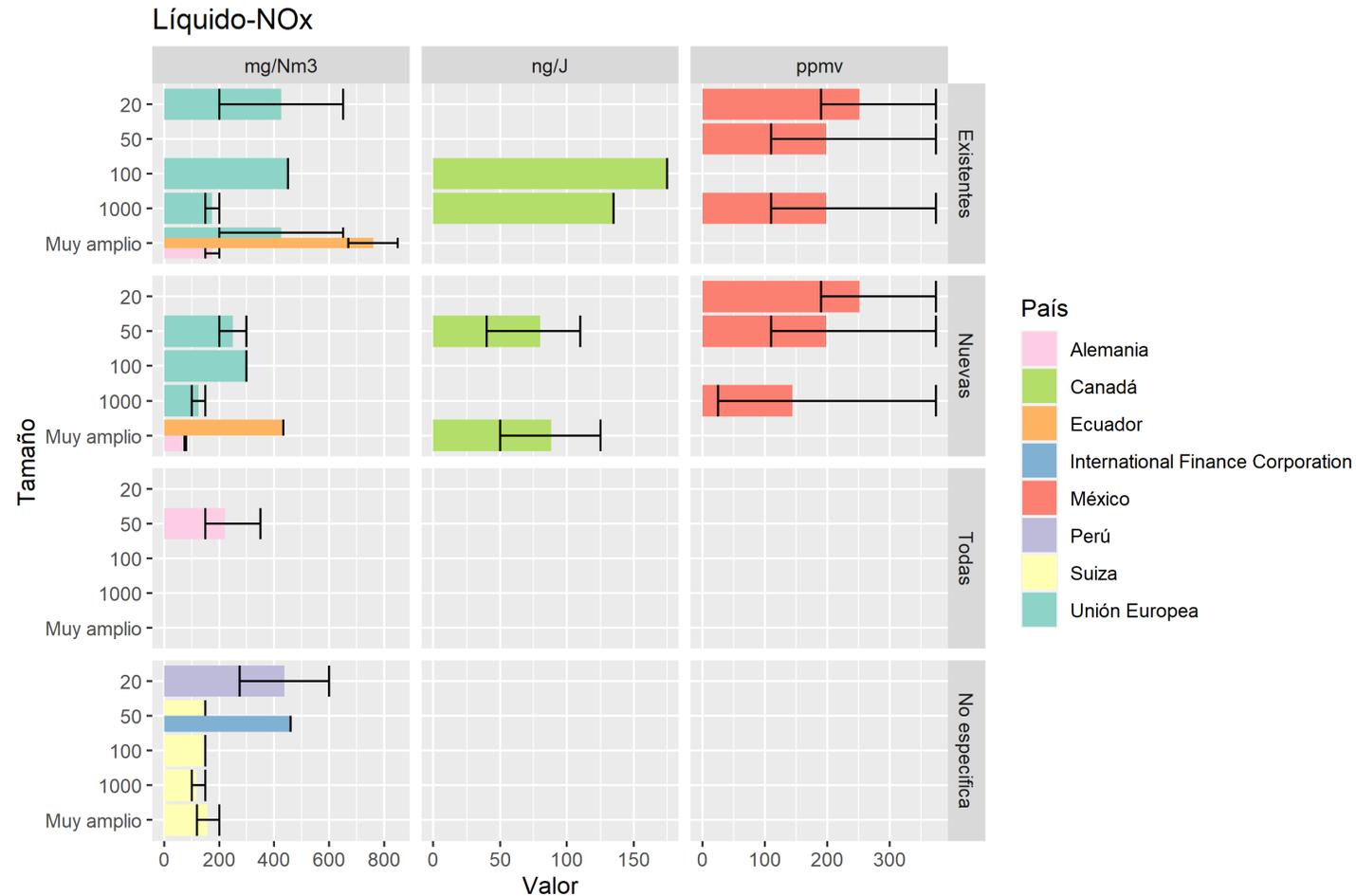


Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# Análisis regulación internacional – NOx – Combustible líquido

- Límite de emisión de NOx para calderas con combustible líquido según tamaño de caldera y antigüedad.

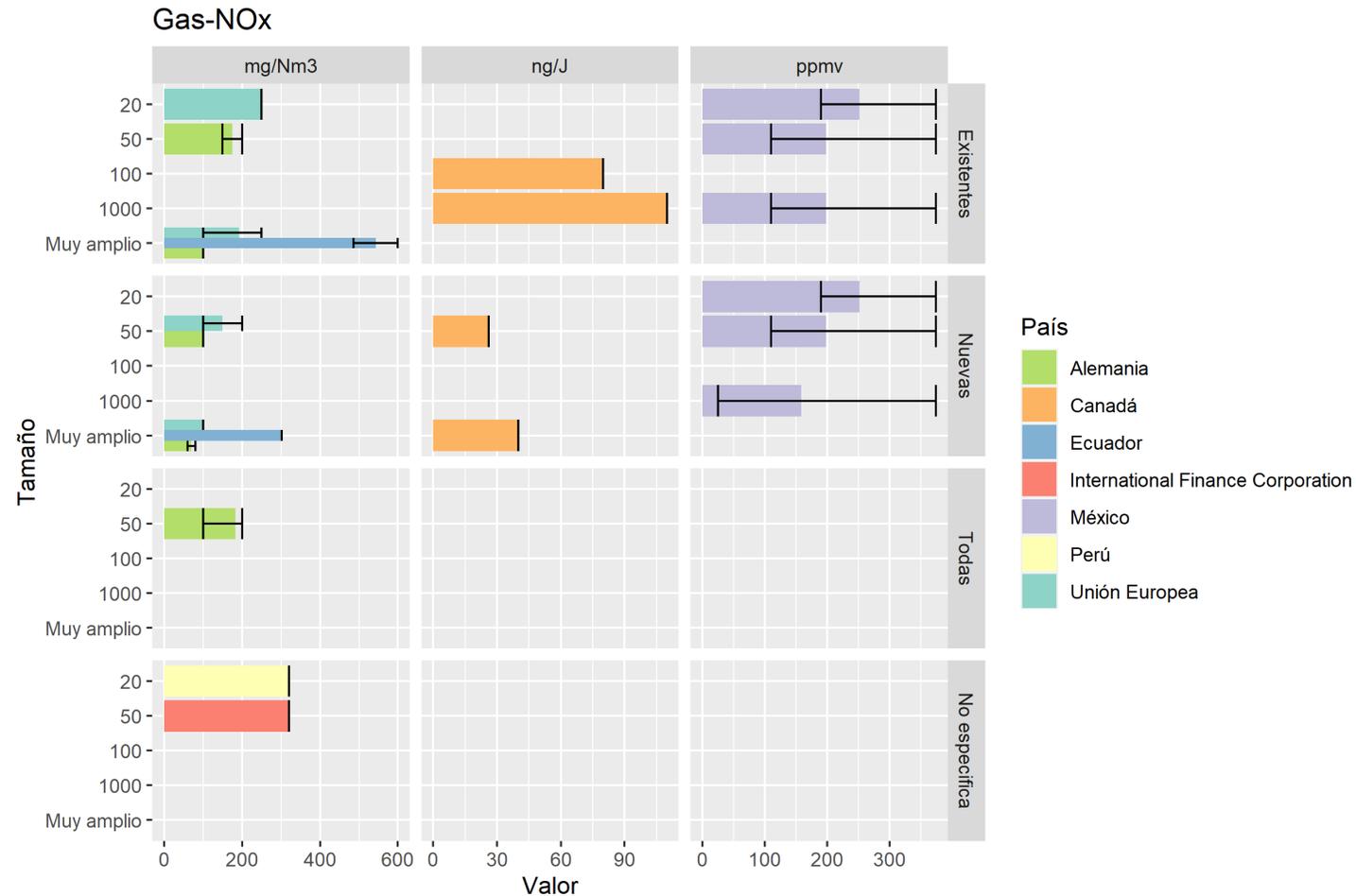


Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# Análisis regulación internacional – NOx – Combustible gaseoso

- Límite de emisión de NOx para calderas con combustible gaseoso según tamaño de caldera y antigüedad.



Nota: la barra de colores representa el valor promedio del límite de emisión. La línea negra representa el valor mínimo y máximo de las regulaciones en ese grupo.

Fuente: Elaboración propia

# NORMATIVA NACIONAL RELACIONADA A CALDERAS

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



31

# Normativa nacional – Normas de emisión

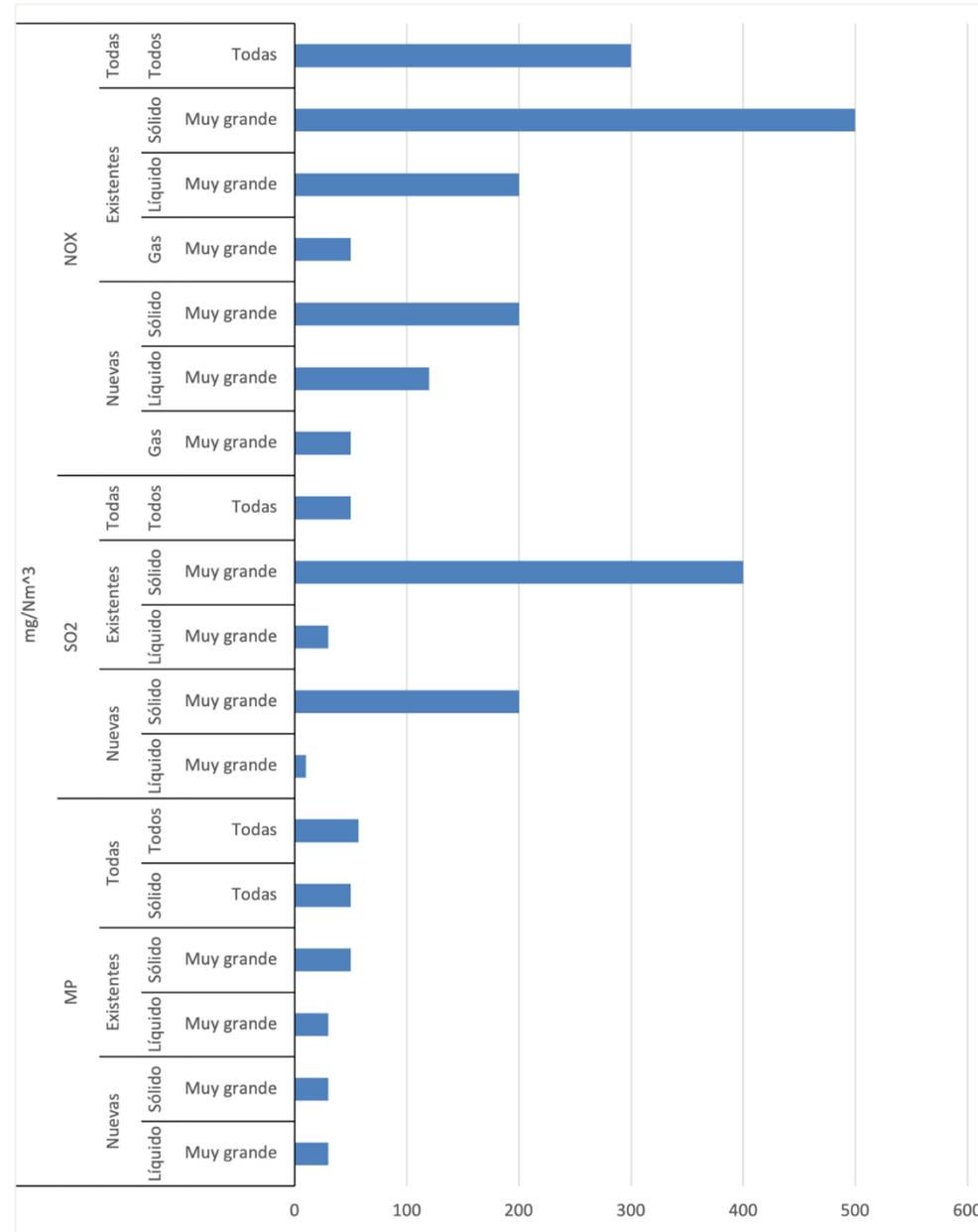
- Normas de emisión revisadas:

Nombre	Decreto	Año
Establece Norma de Emisión de Contaminantes que Indica	D.S N°321	1991
Establece Norma de Emisión para Incineración, Coincineración y Coprocesamiento y Deroga Decreto N°45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia	D.S N°29	2013
Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales	D.S. N°1.583	1992
Establece Fuentes Estacionarias a las que les son Aplicables las Normas de Emisión de Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	D.S. N°2.063	2005
Establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas	D.S. N°13	2011
Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales	D.S. N°4	1992
Aprueba Anteproyecto de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, Elaborado a Partir de la Revisión del Decreto Supremo N°13, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente y lo Somete a Consulta	R.E N°569	2023
Proyecto definitivo de la norma de emisión para calderas	Proyecto Definitivo	2018

Fuente: Elaboración propia

# Normativa nacional – Normas de emisión – Límites de emisión

□ Límites de emisión (mg/Nm<sup>3</sup>):



Fuente: Elaboración propia

# Normativa nacional – PDAs

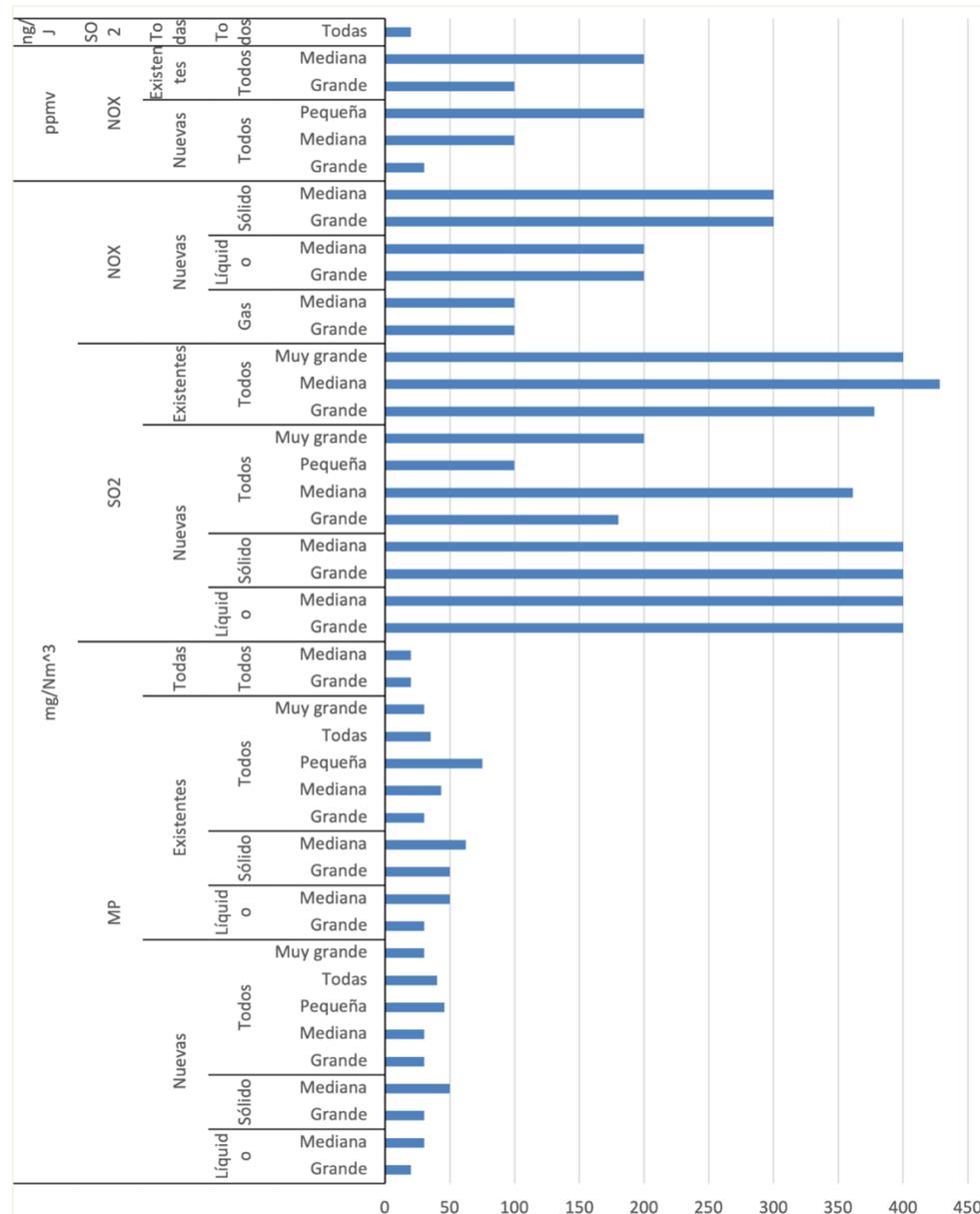
- Lista de PDAs revisados de norte a sur:

PDA	Decreto	Año
Calama y su zona circundante	D.S. Nº5	2021
Concón, Quintero y Puchuncaví	D.S. Nº 105	2018
Anteproyecto PDA Quillota	Res. Nº 82	2022
Región Metropolitana	D.S. Nº 31	2016
Valle Central de la Región de O'Higgins	D.S. Nº 1	2021
Talca y Maule	D.S. Nº 49	2015
Valle Central de la Provincia de Curicó	D.S. Nº 44	2017
Chillán y Chillán Viejo	D.S. Nº 48	2015
Los Ángeles	D.S. Nº 4	2017
Concepción Metropolitan	D.S. Nº 6	2018
Temuco y Padre de las Casas	D.S. Nº 8	2015
Anteproyecto Temuco y Padre de las Casas	Res. Nº 1532	2021
Valdivia	D.S. Nº 25	2016
Osorno	D.S. Nº 47	2015
Coyhaique y su zona circundante	D.S. Nº 7	2018

Fuente: Elaboración propia

# Normativa nacional – PDAs – Límites de emisión

□ Límites de emisión:



Fuente: Elaboración propia

# Unidades de medida utilizadas en normativa

## □ Ventajas y desventajas:

Unidades	Ventajas	Desventajas
mg/Nm <sup>3</sup> y mg/Rm <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más común.</li> <li>- Utilizada tanto en la normativa nacional como internacional, por lo que permite comparación directa.</li> <li>- Permite sinergia con los PDAs.</li> <li>- Ya existen y están probados en Chile los sistemas de medición y evaluación de contaminantes utilizando esta unidad.</li> <li>- Utilizada para representar estándares de calidad del aire en Chile e internacionalmente, por lo que permite cohesión.</li> </ul>	-
ppmv	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada por la normativa estadounidense, por lo que permite comparación de límites con este país.</li> <li>- Existen guías de la US-EPA que indican los mejores equipos y metodologías de medición que utilizan esta unidad de medida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se necesita peso o densidad molecular para comparar con límites en otras unidades.</li> <li>- A veces se agrupan contaminantes para regularlos (p.e. NO<sub>x</sub> o SO<sub>x</sub>): mediciones y conversiones de estos podrían no ser exactos.</li> <li>- No existe relación directa con los límites de emisión de la normativa nacional.</li> </ul>
ng/J, g/GJ, lb/MMBtu y g/Gcal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidades comúnmente utilizadas en EE.UU y otros países OCDE, por lo que permite la comparación de límites con estos países.</li> <li>- Existen guías de la US-EPA que indican los mejores equipos y metodologías de medición que utilizan esta unidad de medida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se vuelven relevantes para el análisis ambiental la potencia de la fuente o el poder calorífico de los combustibles.</li> <li>- No existe relación directa con los límites de emisión de la normativa nacional.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

# Cumplimiento actual de calderas en PDAs

- Se revisaron los últimos informes de avance para cada PDA que regula emisiones de calderas, disponibles en el SNIFA (SMA).
- Se encontró que un **83% de los establecimientos fiscalizados cumplen** con los límites de emisión en todas sus calderas.

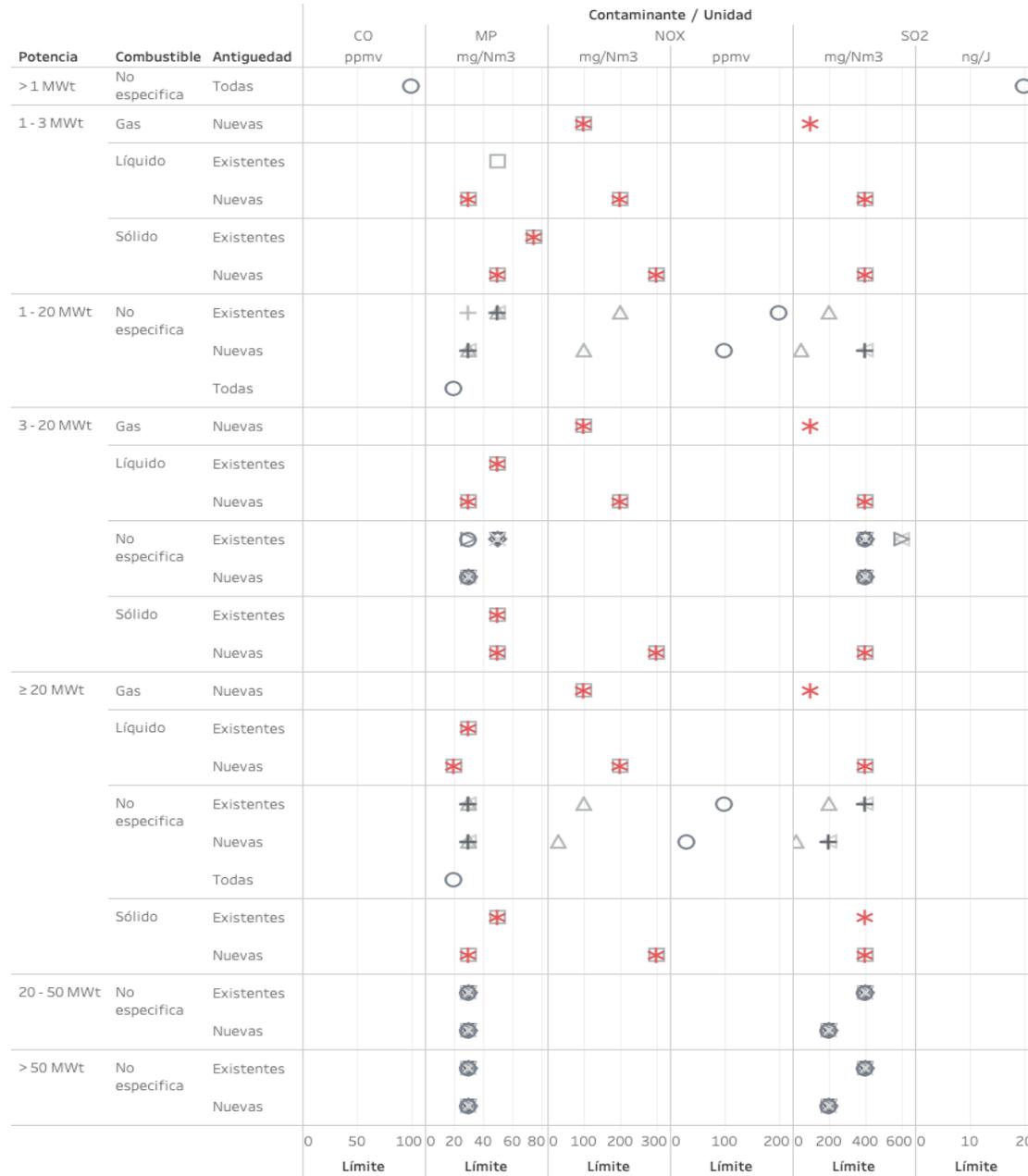
PDA	Decreto	Año de fiscalización	Nº de fuentes revisadas	Nº fuentes sin hallazgos	Nº fuentes con hallazgos	Porcentaje fuentes sin hallazgos
Chillán y Chillán viejo	48/2015	2022	10	9	1	90%
Talca y Maule	49/2015	2022	15	8	7	53%
Osorno	47/2015	2022	10	7	3	70%
Concón, Quintero y Puchuncaví	105/2018	2022	2	2	0	100%
Valdivia	25/2018	2022	1	1	0	100%
Valle central de Curicó	44/2017	2022	3	0	3	0%
Región Metropolitana	31/2017	2021	32	31	1	97%
Concepción metropolitano	6/2018	2021	20	20	0	100%
Valle central de la región de O'Higgins	15/2013	2021	8	8	0	100%
Temuco y Padre de las Casas	8/2015	2021	30	22	8	73%
Los Ángeles	4/2017	2021	0	0	0	-
Coyhaique	7/2018	2021	1	1	0	100%
<b>TOTAL</b>			<b>132</b>	<b>109</b>	<b>23</b>	<b>83%</b>

Fuente: Elaboración propia

## Sinergia entre la futura norma de emisión y los PDAs

- Se evaluó la sinergia entre los PDAs y el proyecto definitivo de la norma de emisión de calderas.
- Se encontró una **gran similitud entre los límites de emisión** establecidos tanto entre los PDAs como con el proyecto definitivo.
- El proyecto definitivo es **más específico al establecer los límites de emisión**, considerando el estado del combustible que utilizan las calderas para normarla, cosa que sólo algunos PDA hacen.

# Sinergia entre la futura norma de emisión y los PDA's – Comparación límites de emisión



### Zona de aplicación

- ✘ Nacional
- Valle Central de la provincia de Curicó
- Ciudad de Calama y su área circundante
- + Comuna de Los Angeles
- ✘ Comuna de Osorno
- △ Comuna de Valdivia
- ◇ Comunas de Chillán y Chillán Viejo
- △ Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
- ▽ Comunas de Talca y Maule
- △ Comunas de Temuco y Padre Las Casas
- Región Metropolitana
- + Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

### Zona de aplicación

- Nacional
- Valle Central de la provincia de Curicó
- Ciudad de Calama y su área circundante
- Comuna de Los Angeles
- Comuna de Osorno
- Comuna de Valdivia
- Comunas de Chillán y Chillán Viejo
- Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
- Comunas de Talca y Maule
- Comunas de Temuco y Padre Las Casas
- Región Metropolitana
- Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

# TECNOLOGÍAS DE CONTROL DE EMISIONES

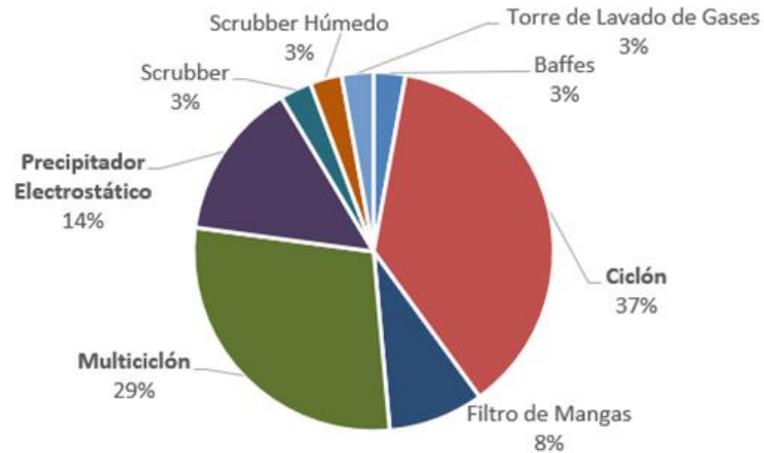
*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



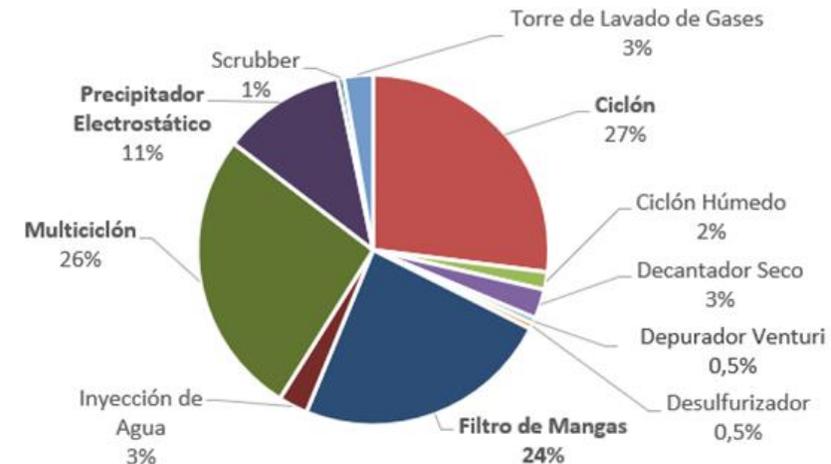
40

# Tecnologías de abatimiento de emisiones identificadas

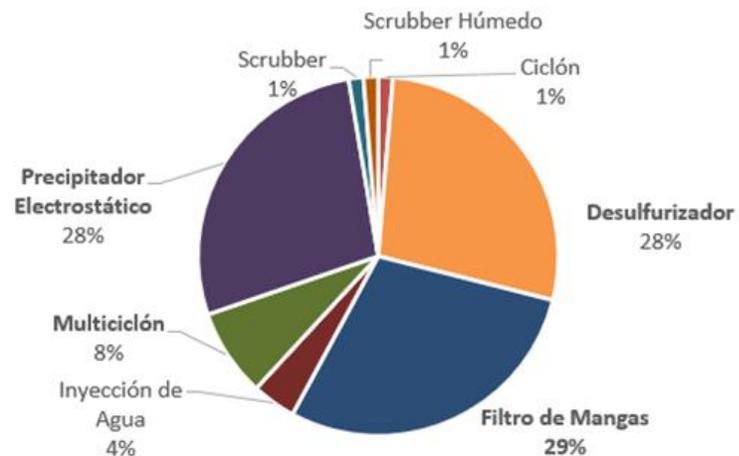
## 1. Tipos de abatimientos usados en Calderas de Fluido Térmico



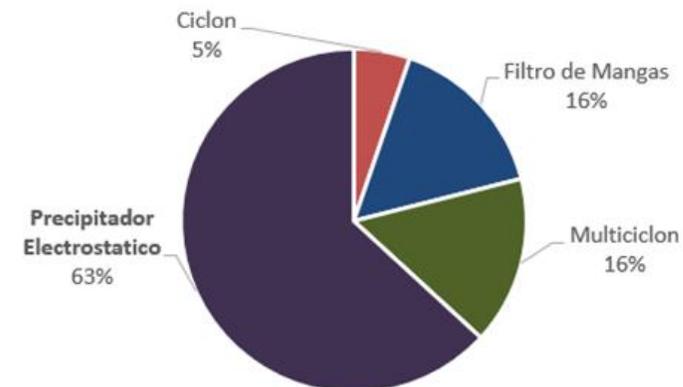
## 2. Tipos de abatimientos usados en Calderas Industriales



## 3.a. Tipos de abatimientos usados en Calderas de Generación Eléctrica



## 3.b. Tipos de abatimientos usados en Calderas de Generación Eléctrica (Sin Termoeléctricas)



Fuente: Elaboración propia, con Base de datos RETC 2022

## Potenciales tecnologías de abatimiento para reducir emisiones de MP, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>

Nombre tecnología	Código	Contaminante	Rango vida útil (años)		Rango eficiencia (%)	
Depurador seco	DS	SO <sub>2</sub>	20	30	83,9	95,2
Precipitador electrostático	ESP	MP	20	20	95	95
Filtro de tela o Filtro de mangas	FF	MP	15	20	99	99
Recirculación de gases de combustión	FGR	NO <sub>x</sub>	15	15	40	40
Quemadores de baja emisión de NO <sub>x</sub>	LNB	NO <sub>x</sub>	15	15	47,5	47,5
Uso de tecnologías FGR y LNB en conjunto	LNB+FGR	NO <sub>x</sub>	15	15	61	61
Reducción Selectiva No Catalítica	SNCR	NO <sub>x</sub>	20	20	25	35
Uso de tecnologías LNB y SNCR en conjunto	LNB+SNCR	NO <sub>x</sub>	15	15	69,5	69,5
Secado por pulverización con cal	LSD	SO <sub>2</sub>	15	15	92	92
Oxidación forzada de piedra caliza	LSFO	SO <sub>2</sub>	15	15	96	96
Reducción Selectiva Catalítica	SCR	NO <sub>x</sub>	25	30	80	90
Depurador Venturi	VS	MP	20	20	90	90
Depurador húmedo	WS	SO <sub>2</sub>	15	30	50	95,2

Fuente: Elaboración propia

# ESCENARIOS NORMATIVOS

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Propuesta de escenarios normativos – Calderas nuevas de potencia menor a 1 MWt

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )		CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt
Potencia				
Gaseoso	N.A.	N.A.	N.A.	80
Líquido	N.A.	50	N.A.	80
Sólido	50	50	N.A.	125

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )		CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt
Potencia				
Gaseoso	N.A.	N.A.	N.A.	80
Líquido	N.A.	30	N.A.	80
Sólido	30	30	N.A.	125

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )		CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt	≥ 75 kWt y < 300 kWt	≥ 300 kWt y < 1 MWt
Potencia				
Gaseoso	5	5	N.A.	80
Líquido	N.A.	30	N.A.	80
Sólido	30	30	N.A.	125

Fuente: Elaboración propia

## Propuesta de escenarios normativos – Calderas de potencia mayor o igual a 1 MWt – MP

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Líquido	50	30	50	30	30	20
Sólido	75	50	50	50	50	30

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Líquido	30	30	30	30	30	20*
Sólido	30	30	30	30	30	30

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	5	5	5	5	5	5
Líquido	30	30	30	20	30	20
Sólido	30	30	30	30	30	20

Fuente: Elaboración propia

## Propuesta de escenarios normativos – Calderas de potencia mayor o igual a 1 MWt – SO<sub>2</sub>

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )					
Potencia	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	N.A.	100	N.A.	100	N.A.	50
Líquido	N.A.	400	N.A.	400	N.A.	400
Sólido	N.A.	400	N.A.	400	400	400

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )					
Potencia	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	NA	100*	NA	50*	400	50*
Líquido	NA	400	NA	400	400	200
Sólido	NA	400	NA	400	400	200

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )					
Potencia	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	35	35	35	35	35	35
Líquido	350	350	350	350	350	200
Sólido	1.100	400	1.000	400	400	200

Fuente: Elaboración propia

## Propuesta de escenarios normativos – Calderas de potencia mayor o igual a 1 MWt – NOx

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	N.A.	100	N.A.	100	N.A.	100
Líquido	N.A.	200	N.A.	200	N.A.	200
Sólido	N.A.	300	N.A.	300	N.A.	300

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	150	100	150	100	150	100
Líquido	250	200	250	200	250	200
Sólido	540	300	540	300	300	250

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )					
	≥ 1 MWt y < 3 MWt		≥ 3 MWt y < 20 MWt		≥ 20 MWt	
Potencia						
Antigüedad	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
Gaseoso	100	100	100	100	100	100
Líquido	200	200	200	200	200	200
Sólido	320	300	320	300	250	150

Fuente: Elaboración propia

## Propuesta de escenarios normativos – Límites de emisión de Mercurio

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )
Potencia	≥ 20 MWt
Carbón y/o petcoke, o mezcla de carbones con diferentes calidades	0,1

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	≥ 20 MWt < 50 MWt	≥ 50 MWt
Potencia		
Carbón y/o petcoke, o mezcla de carbones con diferentes calidades	0,01	0,002

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	≥ 20 MWt < 50 MWt	≥ 50 MWt
Potencia		
Carbón y/o petcoke, o mezcla de carbones con diferentes calidades	0,005	0,001

Fuente: Elaboración propia

## Propuesta de escenarios normativos – Límites de emisión de COVs

### □ Escenario Menos Exigente:

Contaminante	COV (mg/Nm <sup>3</sup> )
Potencia	≥ 75 MWt
Todo tipo de combustible	N.A.

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Intermedio:

Contaminante	COV (mg/Nm <sup>3</sup> )
Potencia	≥ 75 MWt
Todo tipo de combustible	50

Fuente: Elaboración propia

### □ Escenario Más Exigente:

Contaminante	COV (mg/Nm <sup>3</sup> )
Potencia	≥ 75 MWt
Todo tipo de combustible	10

Fuente: Elaboración propia

# PROPUESTA DE FISCALIZACIÓN

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Esquema de medición y fiscalización

Tipo de Medición	Combustible	Potencia	Antigüedad	Parámetros Medidos	Frecuencia de Medición	
					Sector Industrial	Sector Comercial y Residencial
Continua	Todos	≥ 20 MWt	Nuevas	MP, SO <sub>2</sub> , NOx y COVs	Continua	Continua
Discreta	Todos	≥ 20 MWt	Nuevas	Hg	2 veces al año	1 vez al año
Discreta	Todos	≥ 20 MWt	Existentes	MP, SO <sub>2</sub> , NOx y Hg	2 veces al año	1 vez al año
Discreta	Sólido de origen fósil y biomasa tratada	< 20 Mwt	Todas	MP, SO <sub>2</sub> , NOx y COVs	1 vez al año	1 medición cada 2 años
Discreta	Biomasa no tratada	< 20 Mwt	Todas	MP, NOx y COVs	1 vez al año	1 medición cada 2 años
Discreta	Líquido con contenido de azufre mayor a 50 ppm	< 20 Mwt	Todas	MP, SO <sub>2</sub> , NOx y COVs	1 vez al año	1 medición cada 2 años
Discreta	Líquido con contenido de azufre menor a 50 ppm	< 20 Mwt	Todas	MP, NOx y COVs	1 vez al año	1 medición cada 3 años
Discreta	Gaseoso	< 20 Mwt	Todas	SO <sub>2</sub> , NOx y COVs	1 vez al año	1 medición cada 3 años

Fuente: Elaboración propia

# PROYECCIÓN EMISIONES

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



52

## Metodología de proyección de emisiones – Línea base

- Proyección de la línea base se realiza a partir del **parque de calderas**, hasta 2032.
  - Regresión lineal por región, a partir de calderas reportadas en RETC, periodo 2019-2022.
- **Nuevas calderas:**
  - **Misma distribución de 2022** de calderas por comuna, tipo de caldera, estado de combustible y rango de potencia.
  - Horas de operación corresponde al **promedio de horas de operación** del parque existente, para cada tipo de caldera.
  - Potencia corresponde al **promedio de las potencias** del parque existente por tipo de caldera y rango de potencia.
  - Asignación de concentración para **caldera nueva**, línea base:

$$Conc_{Asignada} = \min\{Limite\ emisión_{PDA}, Limite\ emisión_{NE\ Termoelectricas}, Mediana(Concentraciones_{2022})\}$$

- **Calderas existentes:**

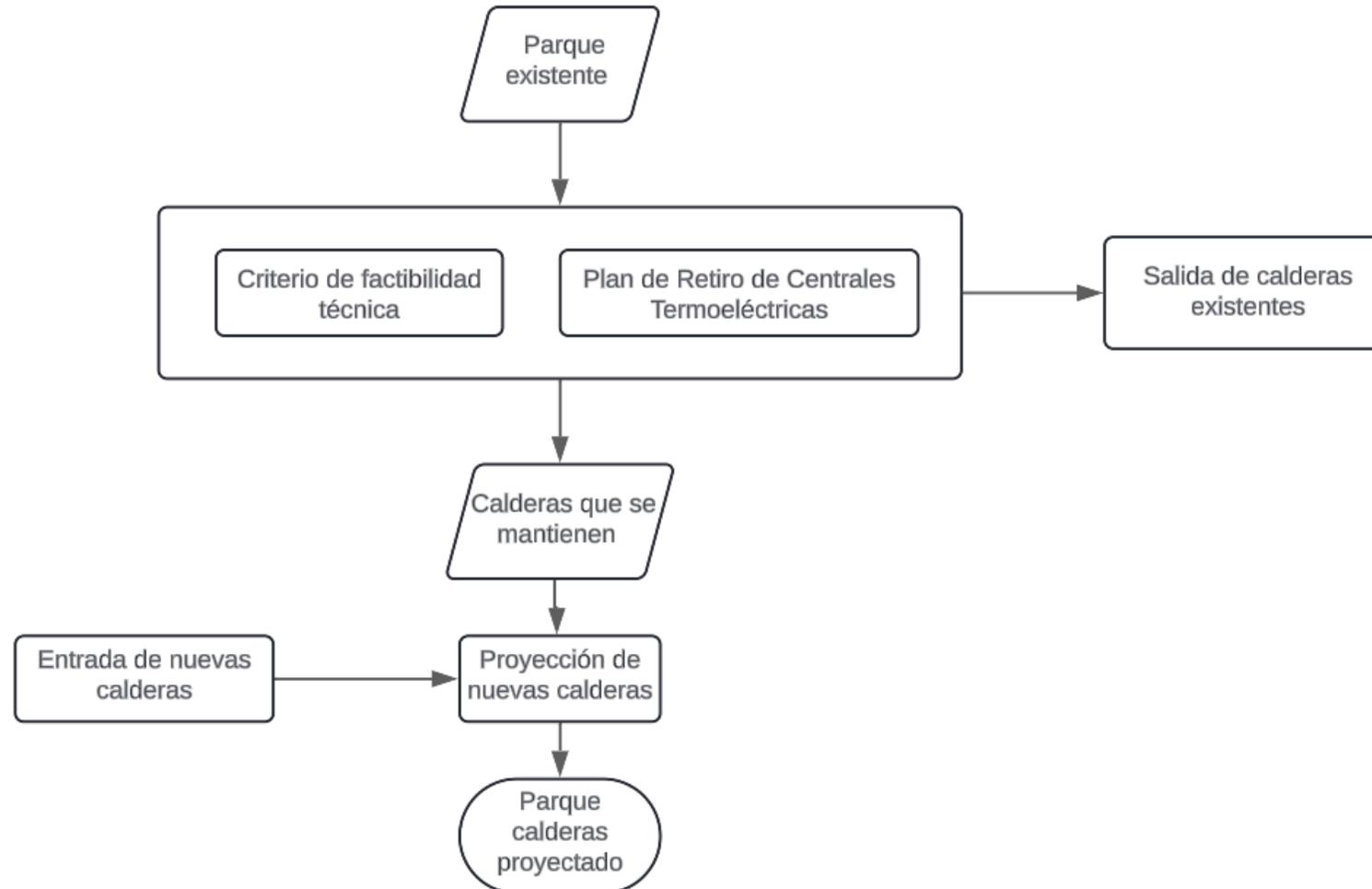
$$Conc = \min\{Limite\ de\ emision_{PDA}, Limite\ de\ emision_{NE\ Termoelectricas}, Concentración_{año\ base}\}$$

- **Calderas que salen:**

- (1) Criterio de factibilidad técnica
- (2) Plan de retiro de centrales termoeléctricas en base a carbón

## Metodología de proyección de emisiones – Línea base – Diagrama

- Proceso proyección de parque de calderas:



## Metodología de proyección de emisiones – Escenarios normativos

□ Proyección se realiza a partir del inventario proyectado en el escenario línea base, hasta 2032.

□ **Nuevas calderas:**

- Calderas que entran desde 2027 en adelante.
- Asignación de concentración para **caldera nueva (y para calderas existentes)**:

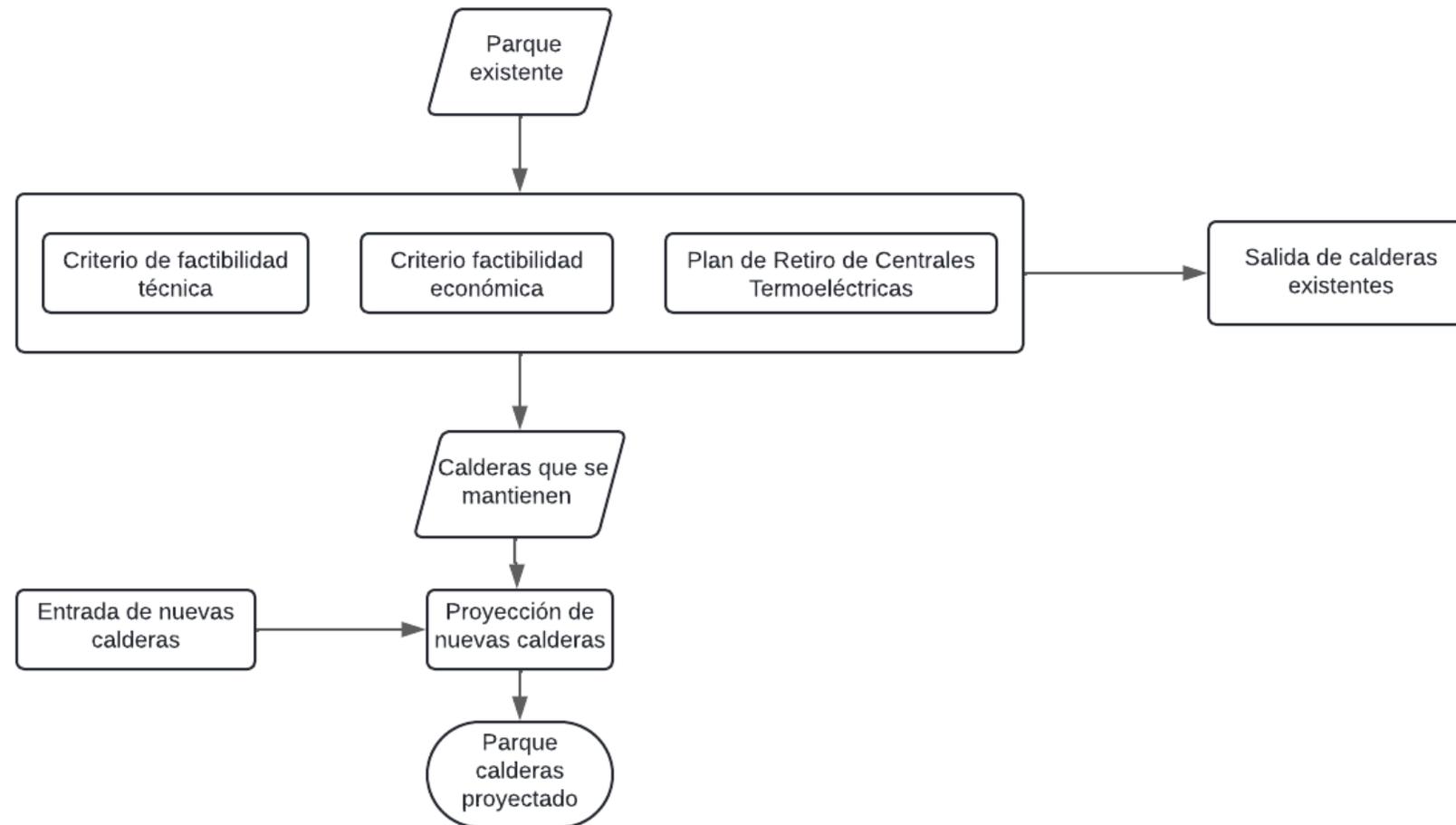
$$Conc_{Asignada, Esc. normativo} = \min\{Límite emisión_{Esc. normativo}, Concentración_{línea base}\}$$

□ **Calderas que salen:**

- (1) Criterio de factibilidad técnica
- (2) Criterio de factibilidad económica
- (3) Plan de retiro de centrales termoeléctricas en base a carbón

## Metodología de proyección de emisiones – Escenarios normativos – Diagrama

- Proceso proyección de parque de calderas:



## Metodología de proyección de emisiones – Cálculo emisiones

- Estimación de **emisiones** a partir de concentración proyectada:

$$Emisión_{k,f} \left[ \frac{ton}{año} \right] = \frac{Concentración_{k,f} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \cdot Caudal\ de\ salida_f \left[ \frac{m^3}{h} \right] \cdot Horas\ operación_f \left[ \frac{h}{año} \right]}{10^9 \left[ \frac{mg}{ton} \right]}$$

- Cálculo de **caudal**:

$$Q_e \left[ \frac{dsm^3}{h} \right] = F_d \left[ \frac{dsm^3}{MWh} \right] \cdot \frac{20,9\%}{20,9\% - O_2\%} \cdot Potencia\ Termica \left[ \frac{MWh}{h} \right]$$

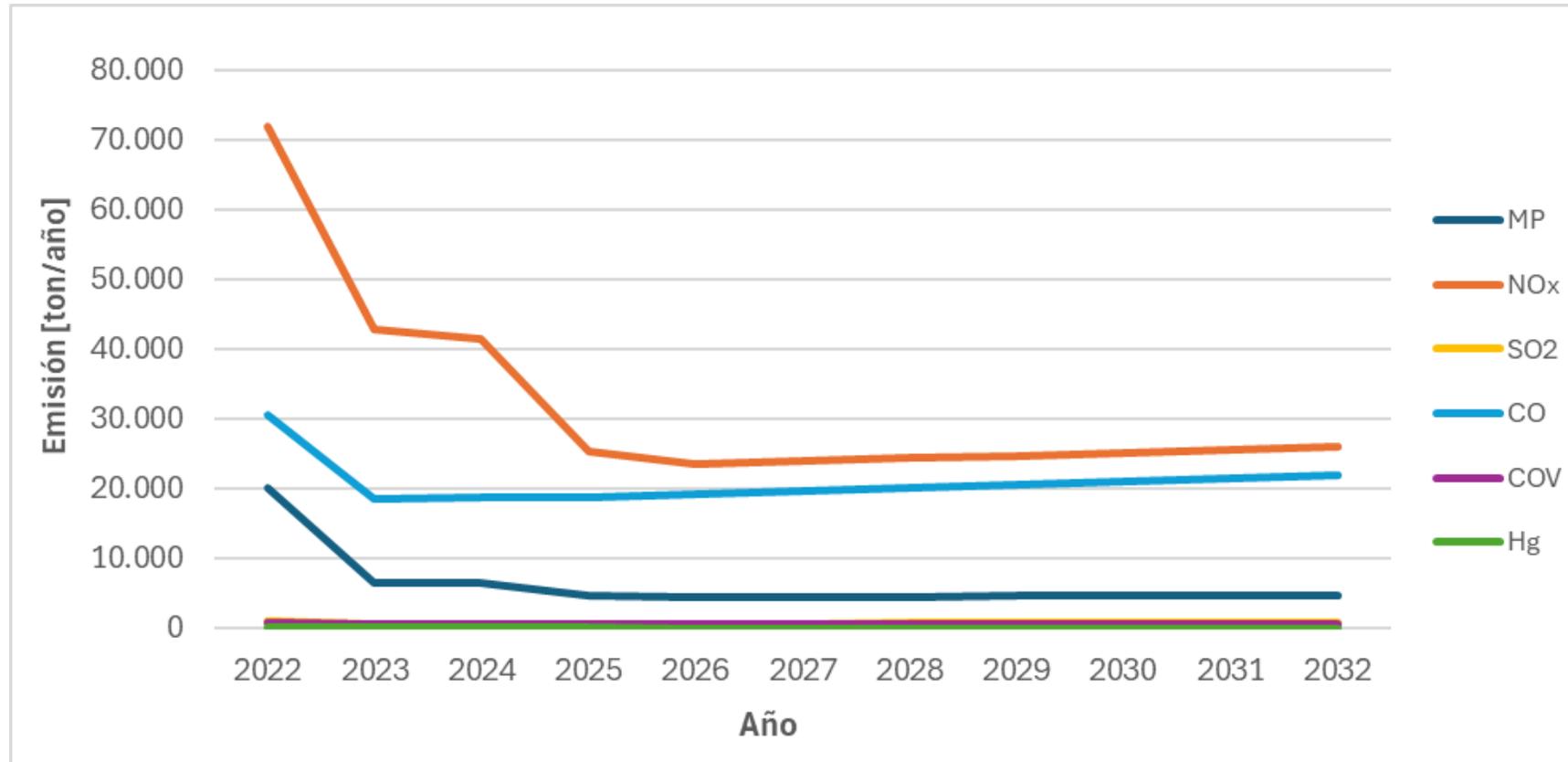
Donde

$F_d$ : volumen de los componentes de combustión por unidad de contenido calorífico.

$O_2$ : Corrección por oxígeno según estado de combustible.

## Proyección de emisiones – Línea base

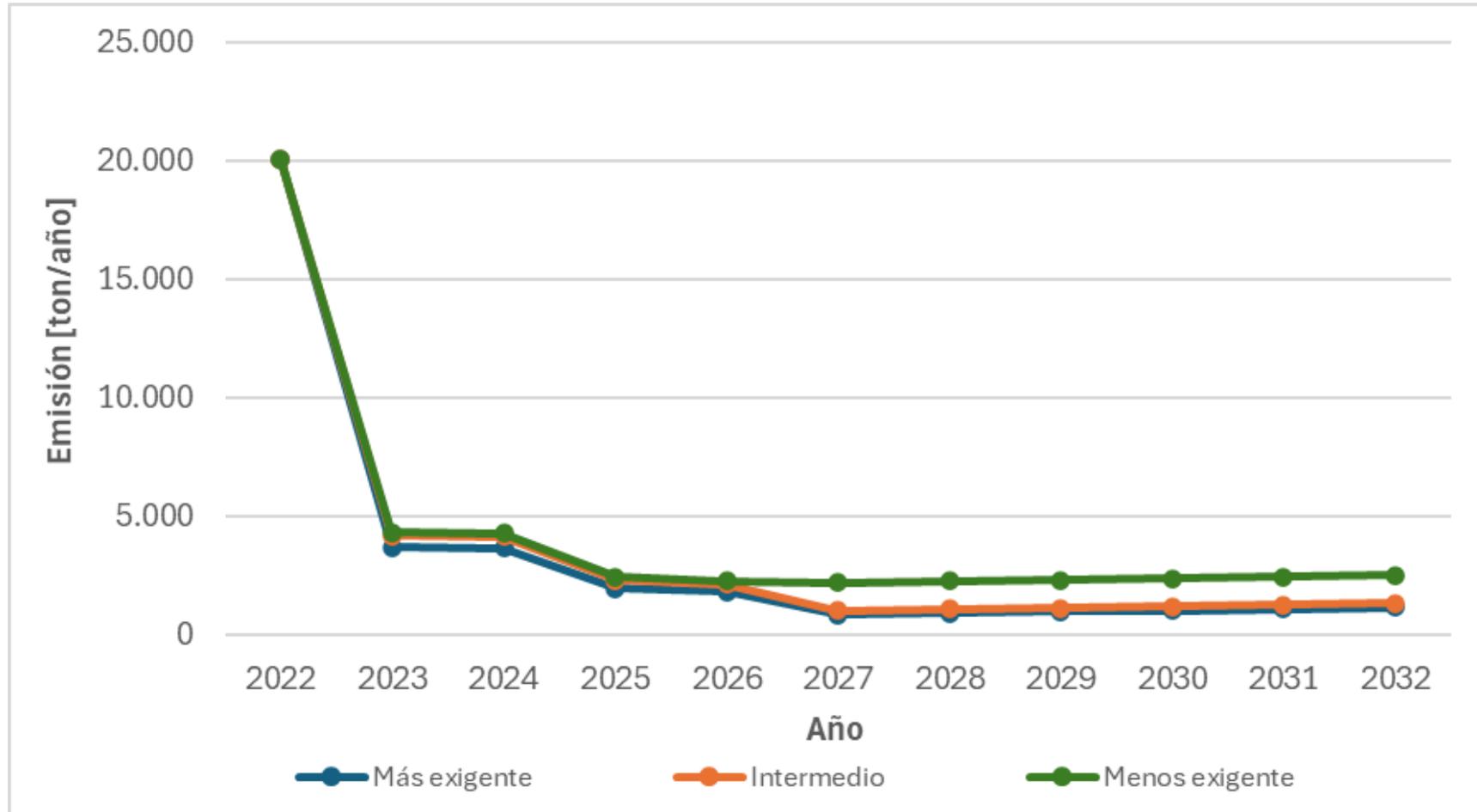
- Trayectoria de emisiones por contaminante:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – MP

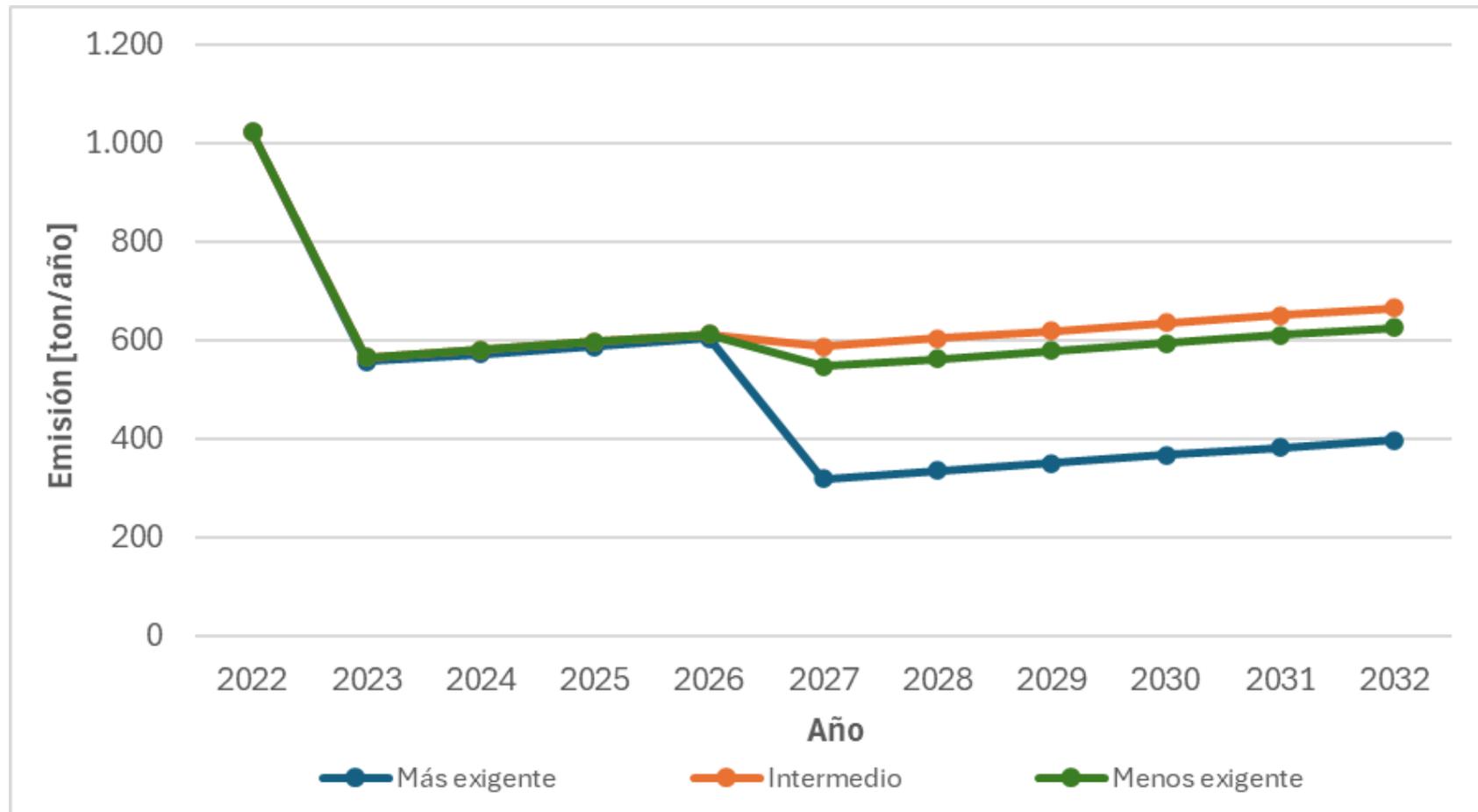
- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – SO<sub>2</sub>

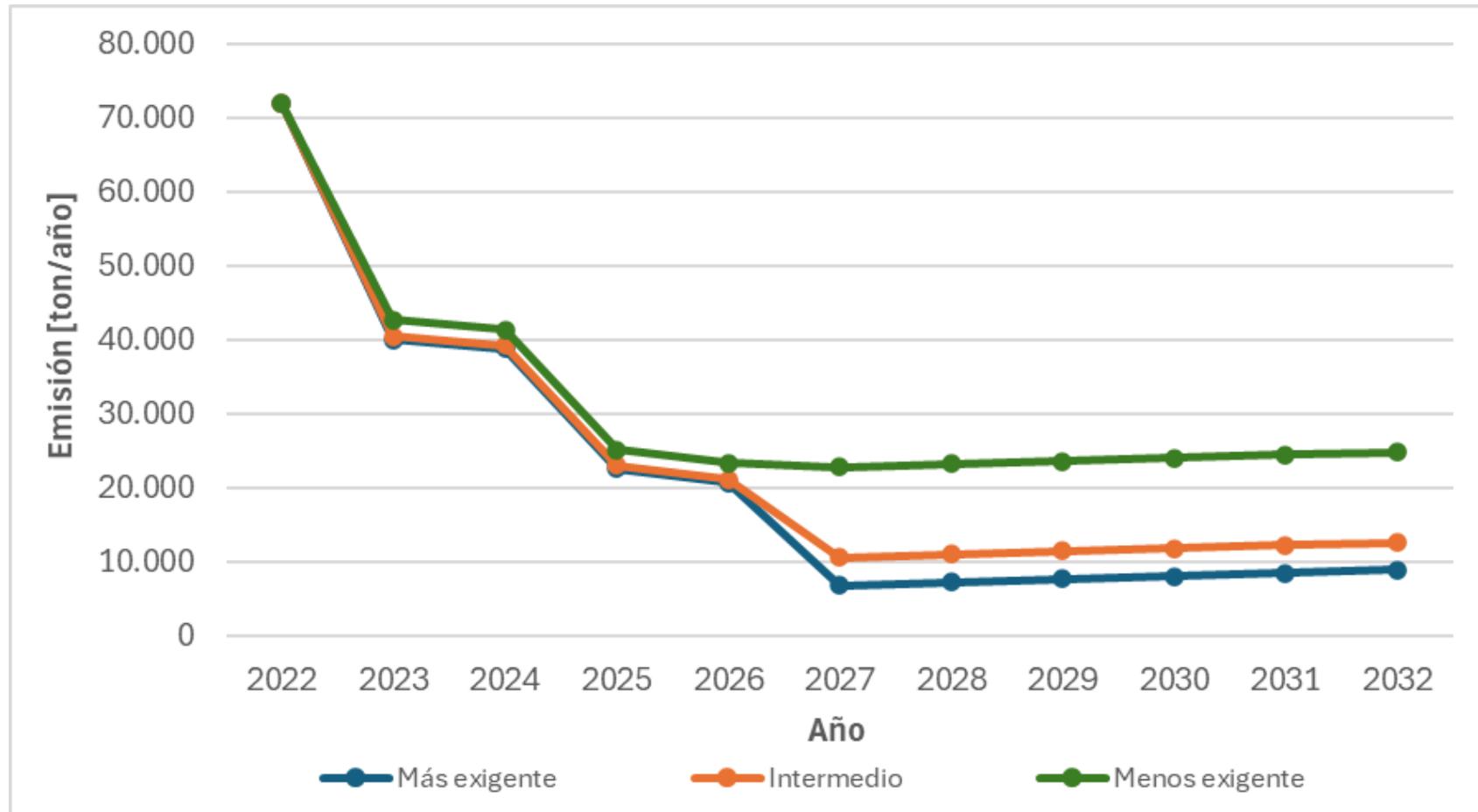
- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – NOx

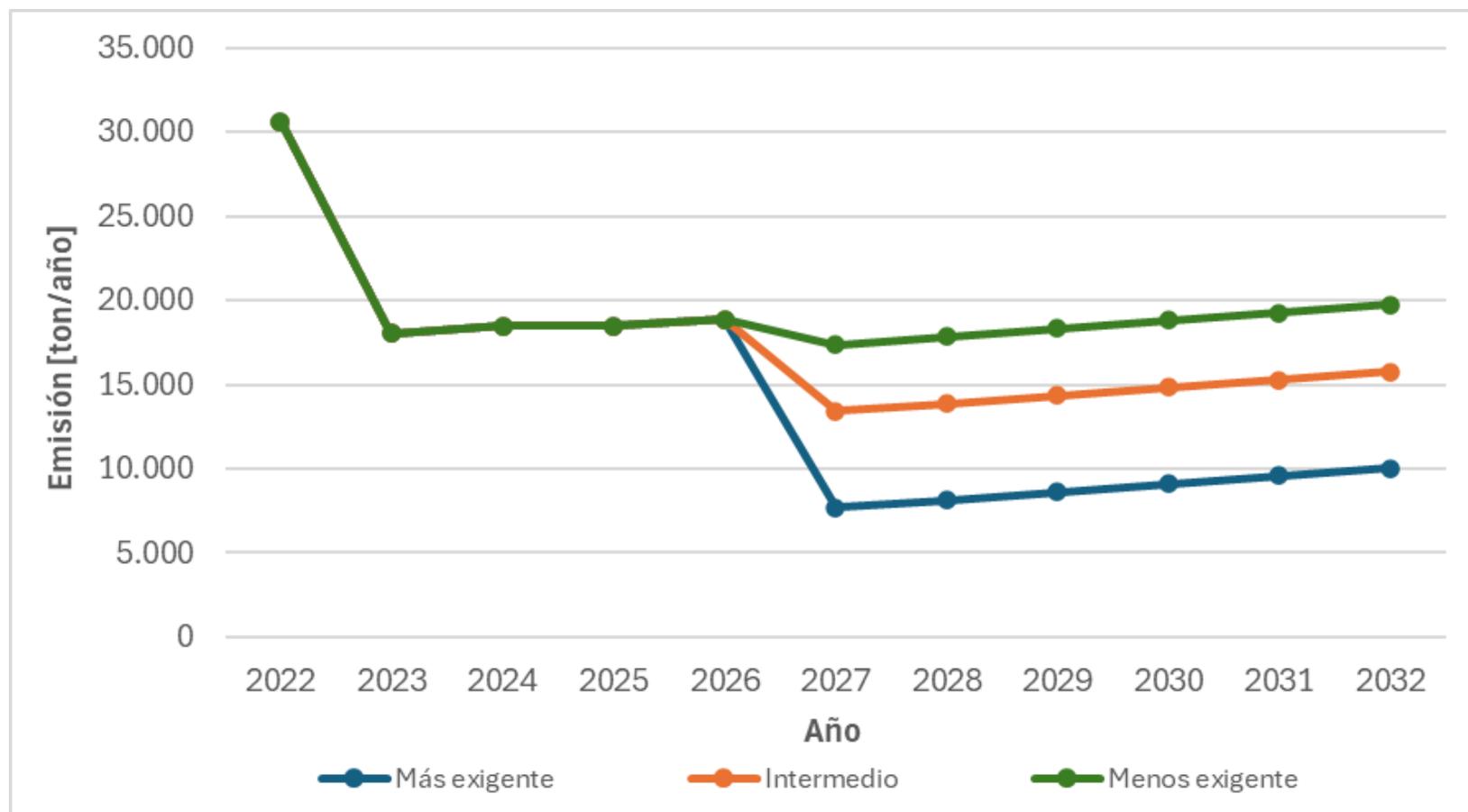
- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – CO

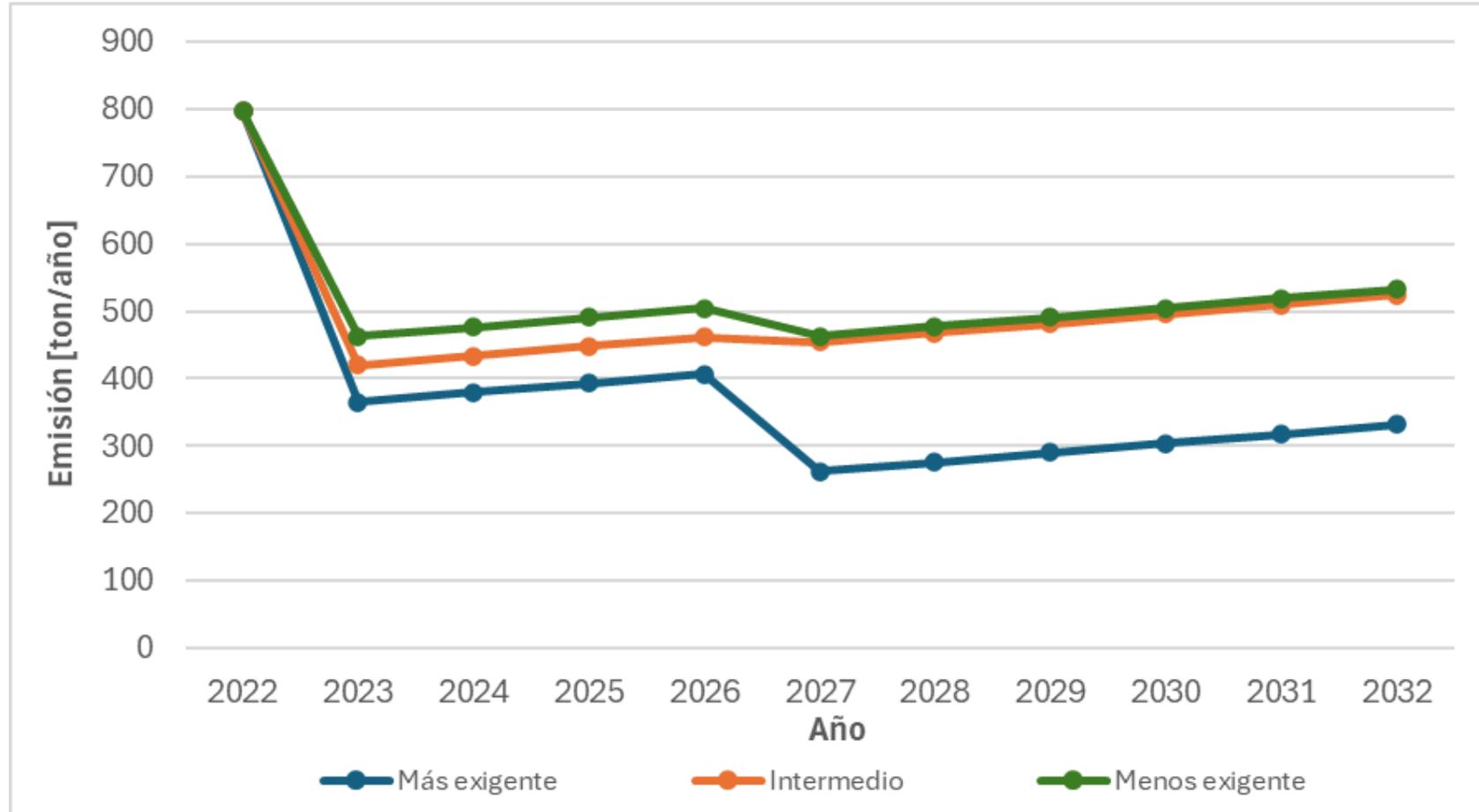
- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – COV

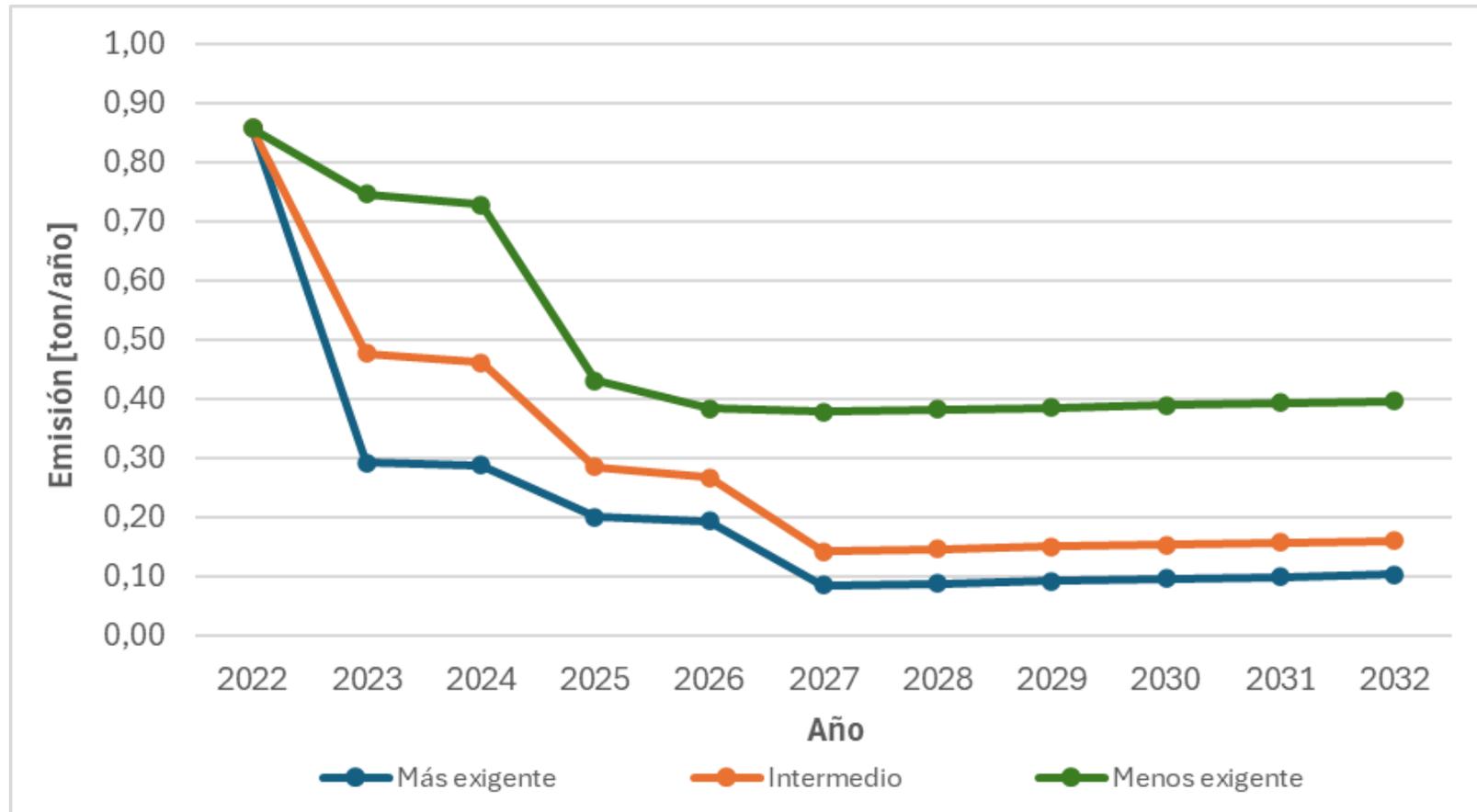
- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

## Proyección de emisiones – Escenarios normativos – Hg

- Trayectoria de emisiones por escenario:



Fuente: Elaboración propia

# PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL DE EMISIONES

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Propuesta de tecnologías de abatimiento

- Conteo de tecnologías seleccionadas para cada escenario, en base a su idoneidad para la caldera y el contaminante que emite:

Tecnologías	Esc. Menos exigente	Esc. Intermedio	Esc. Más exigente
SNCR	-	439	502
FF	2	5	12
VS	212	305	646
WS	-	1	95
No encontrado	12	1.170	1.827
N.A.	99.384	97.690	96.528
<b>Total</b>	<b>99.610</b>	<b>99.610</b>	<b>99.610</b>

Fuente: Elaboración propia

\*El conteo de tecnologías seleccionadas no debe coincidir con el de calderas, debido a que para una misma caldera puede seleccionarse más de una tecnología.

## COSTOS Y BENEFICIOS

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



67

## Costos para cada tecnología de abatimiento

- Para cada tecnología de abatimiento:
  - Costos de inversión
  - Costos de operación
  - Costos de mantención
- Se utilizó la Documentación CoST de la EPA.
- Cálculo de costos se aborda como un problema de optimización:
  - Cada establecimiento busca **minimizar sus costos** sujeto a una eficiencia mínima requerida, que a su vez estará dada por la obligación del cumplimiento de la normativa para los tres escenarios.

## Costos para cada tecnología de abatimiento – Costos anuales

- Costos anuales totales de abatimiento por tipo de caldera y escenario:

Tipo de caldera	Costo anual esc. menos exigente [UF/año]	Costo anual esc. intermedio [UF/año]	Costo anual esc. más exigente [UF/año]
Caldera Agua Caliente	1.293.568	1.856.403	2.990.515
Caldera de Fluido Térmico	19.282	60.209	124.579
Caldera de Generación Eléctrica	350.104	1.721.678	3.555.550
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	862.849	1.343.500	2.678.116
Caldera Recuperadora	41.538	95.717	111.788
<b>Total</b>	<b>2.567.341</b>	<b>5.077.507</b>	<b>9.460.548</b>

Fuente: Elaboración propia

- Costos anuales totales de abatimiento por contaminante y escenario:

Contaminante	Costo escenario menos exigente [UF/año]	Costo escenario intermedio [UF/año]	Costo escenario más exigente [UF/año]
MP	2.567.341	3.963.665	8.212.715
NO <sub>x</sub>	-	1.108.201	1.203.242
SO <sub>2</sub>	-	5.641	44.591
<b>Total</b>	<b>2.567.341</b>	<b>5.077.507</b>	<b>9.460.548</b>

Fuente: Elaboración propia

## Costos de monitoreo y fiscalización

- Revisión de los programas y subprogramas de fiscalización ambiental de normas de emisión para los años 2023 y 2024.
  - Se realiza una estimación del **costo unitario de fiscalización** por actividad para normas de emisión de aire.
  - Se considera un costo de fiscalización equivalente al costo de fiscalización promedio más reciente por actividad correspondiente al año 2024, equivalente a **33,15 UF por actividad**.
- Costos de **fiscalización** anuales por escenario normativo:

Escenario	Menos exigente	Intermedio	Más exigente
#Calderas afectas	222	1.544	2.314
Costo anual fiscalización [UF/año]	7.359	51.184	76.709

Fuente: Elaboración propia

- Costos de **monitoreo** anuales por escenario normativo:

Escenario	Menos exigente	Intermedio	Más exigente
#Calderas afectas	222	1.544	2.314
Costo monitoreo continuo [UF/año]	1.628.088	11.323.279	16.970.251
Costo monitoreo discreto [UF/año]	55.758	387.794	581.189
<b>Total</b>	<b>1.683.846</b>	<b>11.711.073</b>	<b>17.551.440</b>

Fuente: Elaboración propia

## Valorización de los beneficios en salud y productividad

- Se valoran los beneficios en salud humana asociados a mortalidad y pérdida de productividad.
- Para la estimación del cambio en el número de efecto, se utilizan los coeficientes de riesgo unitario recomendados por GreenLab Dictuc (2022).
- Beneficios totales anuales [UF/año] por escenario y contaminante:

Contaminante	Esc. menos exigente	Esc. intermedio	Esc.más exigente
MP2.5	198.534.246	205.403.192	212.725.250
MP10	5.817	6.024	6.257
SO2	2	2	2
<b>Total</b>	<b>198.540.065</b>	<b>205.409.218</b>	<b>212.731.510</b>

Fuente: Elaboración propia

## Razón beneficio-costo por escenario normativo

- En todos los escenarios los beneficios superan ampliamente los costos.
  - Estos valores de razón BC indican que sería recomendable implementar la norma.

Escenario	Menos exigente	Intermedio	Más Exigente
Costo anual abatimiento [UF/año]	2.567.341	5.077.507	9.460.548
Costo anual fiscalización y monitoreo [UF/año]	1.691.205	11.762.257	17.628.149
Beneficios sociales [UF/año]	198.540.065	205.409.218	212.731.510
<b>B/C</b>	<b>47</b>	<b>12</b>	<b>8</b>

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



73

## Conclusiones

- De acuerdo con el inventario de emisiones elaborado, la principal fuente emisora de MP las **calderas de generación eléctrica**, mientras que para el resto de contaminantes las emisiones son generadas principalmente por **calderas recuperadoras**, que en su mayoría utilizan **combustibles sólidos**.
- A partir del análisis de emisiones por rango de potencia se determinó que las **calderas de mayor potencia** concentran gran parte de las emisiones.
- Propuesta de nuevos criterios normativos, respecto del proyecto definitivo:
  - Se actualizan los rangos de tamaño de fuentes reguladas.
  - Se incorporan los COVs y Hg como contaminantes a normar.
  - Se proponen nuevos límites de emisión, desagregados por tamaño de fuente, antigüedad, tipo de combustible y contaminante.
  - Se incluye a las calderas cogeneradoras.
- La razón beneficio-costos estimada para cada escenario normativo refleja que sería **recomendable implementar la norma**.