



000139

INFORME FINAL

“Generación de antecedentes técnicos y económicos para la elaboración de una norma de emisión para calderas y procesos industriales con combustión en el sector industrial, comercial y residencial”

**PREPARADO PARA:
SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE**

25 de febrero de 2014

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio “Generación de antecedentes técnicos y económicos para la elaboración de una norma de emisión para calderas y procesos industriales con combustión en el sector industrial, comercial y residencial”, de acuerdo con los términos de referencia definidos por la Subsecretaría del Medio Ambiente.

El informe da cuenta de los siguientes objetivos específicos comprometidos según los términos de referencia:

- a. Describir el parque de calderas y procesos industriales con combustión desagregado por región, sector y rubro, de acuerdo con los criterios indicados en el numeral 3 de los términos de referencia.
- b. Estimar para un escenario “sin norma” el aporte de emisiones desagregado por sector y rubro para calderas y procesos industriales con combustión, y para cada contaminante de interés.
- c. Proponer tres escenarios de límites de emisión “con norma” para los contaminantes de interés de calderas y procesos industriales con combustión.
- d. Evaluar el potencial de reducción de emisión de cada escenario, en términos de efectividad en la reducción y su costo.

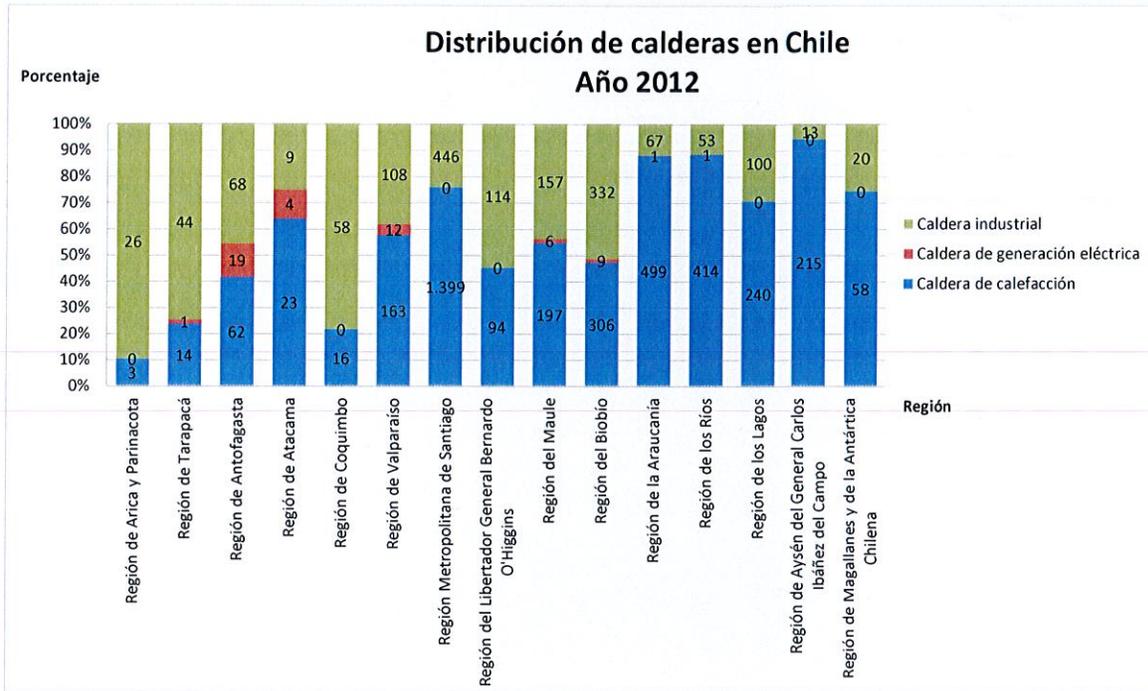
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE DE CALDERAS Y PROCESOS INDUSTRIALES CON COMBUSTIÓN

En el presente capítulo, se presenta un catastro del parque de calderas y procesos industriales con combustión basado en el procesamiento de la información contenida en el F138. Para ello, se procesaron y se validaron los datos en función de los requerimientos de inclusión y exclusión dados en los términos de referencia del presente estudio.

El F138 permite a los usuarios industriales declarar sus unidades de emisión (en adelante, fuentes). Estas fuentes se subdividen en los siguientes tipos:

- Caldera de calefacción
- Caldera de generación eléctrica
- Caldera industrial
- Horno de panadería
- Proceso industrial con combustión
- Proceso industrial sin combustión

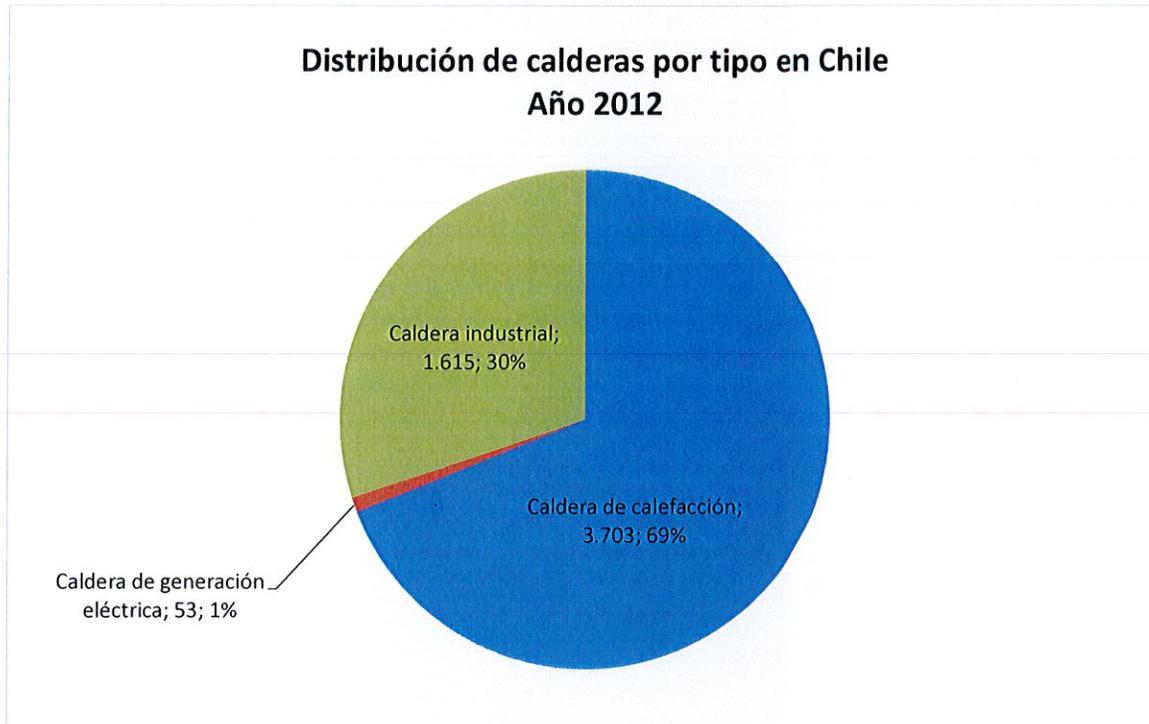
En la Figura 1, se presenta la distribución de las calderas declaradas en Chile.



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 1: Distribución de calderas en Chile (año 2012).

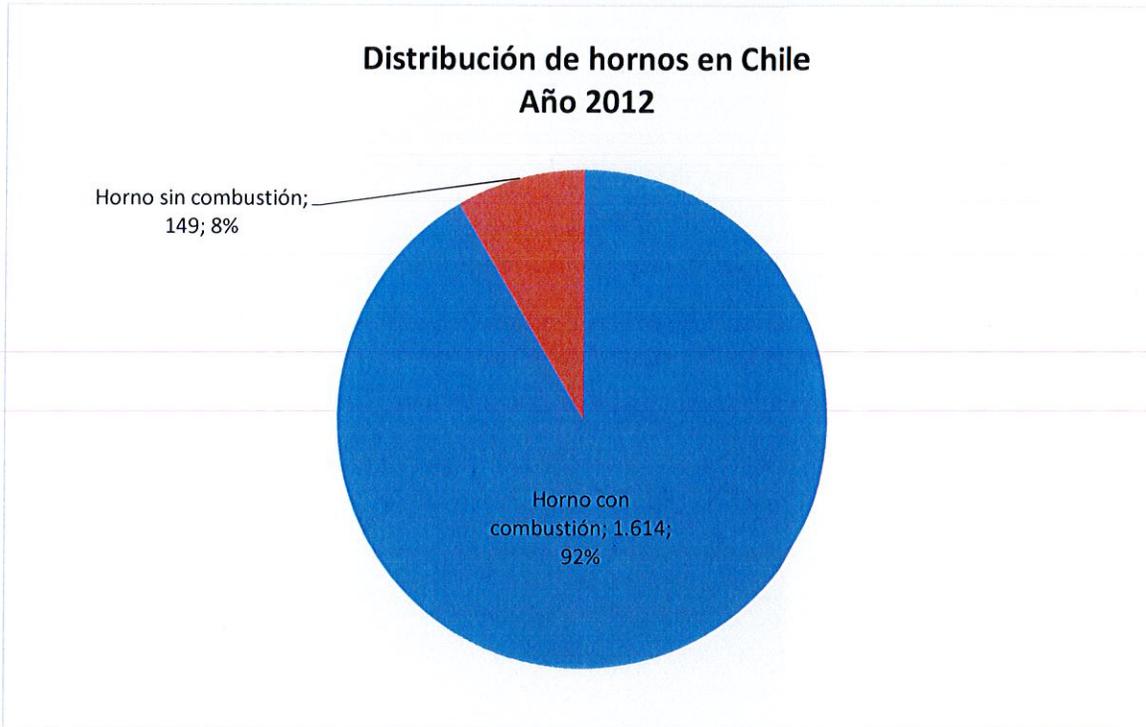
En la Figura 2, se grafica la distribución de las calderas declaradas por tipo en Chile. 000142



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 2: Distribución de calderas por tipo en Chile (año 2012).

En la Figura 3, se muestra la distribución de los hornos declarados en Chile.



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

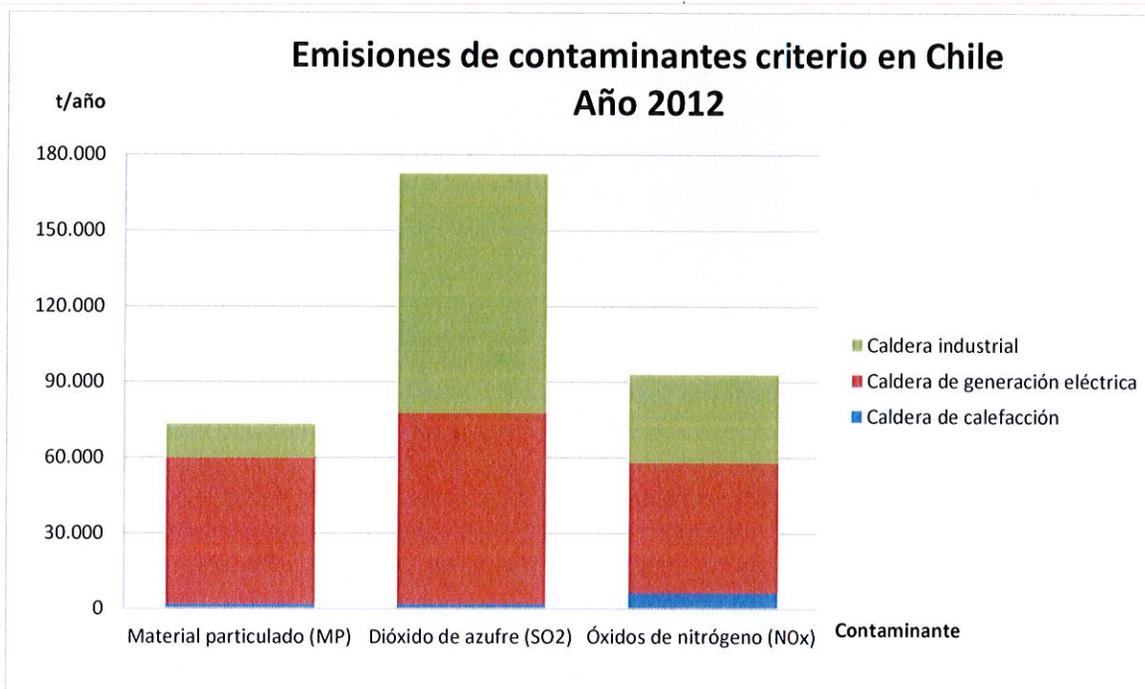
Figura 3: Distribución de hornos en Chile (año 2012).

1.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA UN ESCENARIO “SIN NORMA”

En el presente capítulo, se presenta la estimación de emisiones para calderas y procesos industriales con combustión basado en el procesamiento de la información contenida en el F138.

Para ello, al igual que en el capítulo “descripción del parque de calderas y procesos industriales con combustión” del presente informe, se procesaron y se validaron los datos en función de los requerimientos de inclusión y exclusión dados en los términos de referencia del presente estudio.

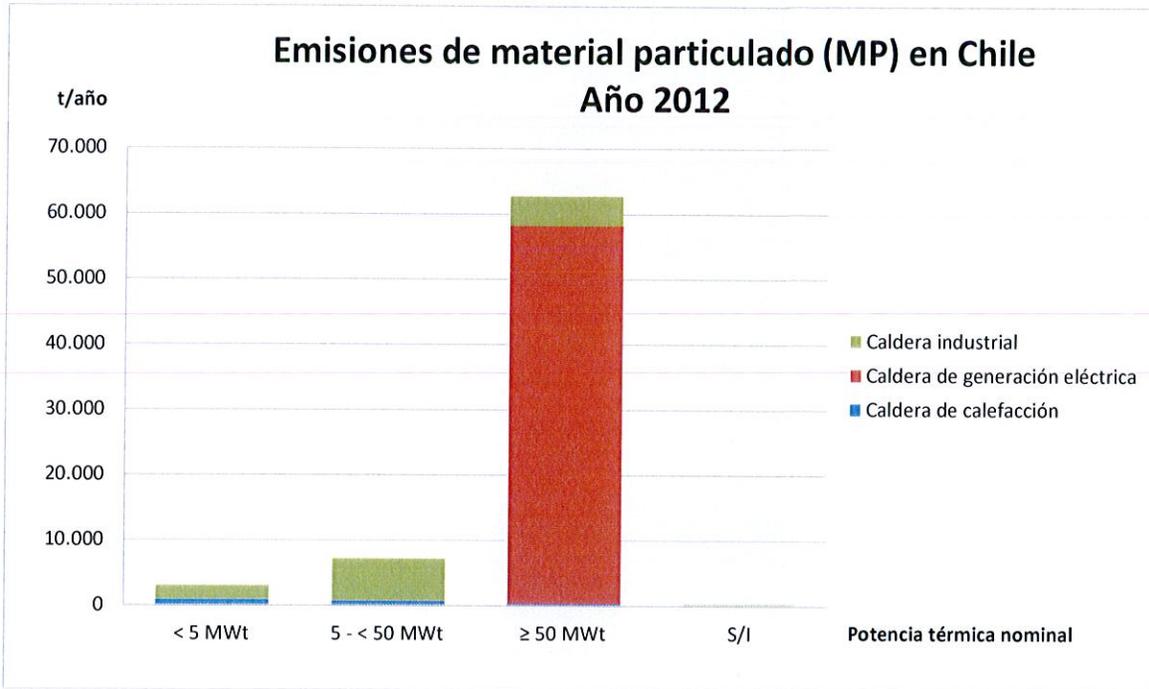
En la Figura 4, se presentan las emisiones de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) por tipo de caldera en Chile.



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 4: Emisiones de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) por tipo de caldera en Chile (año 2012).

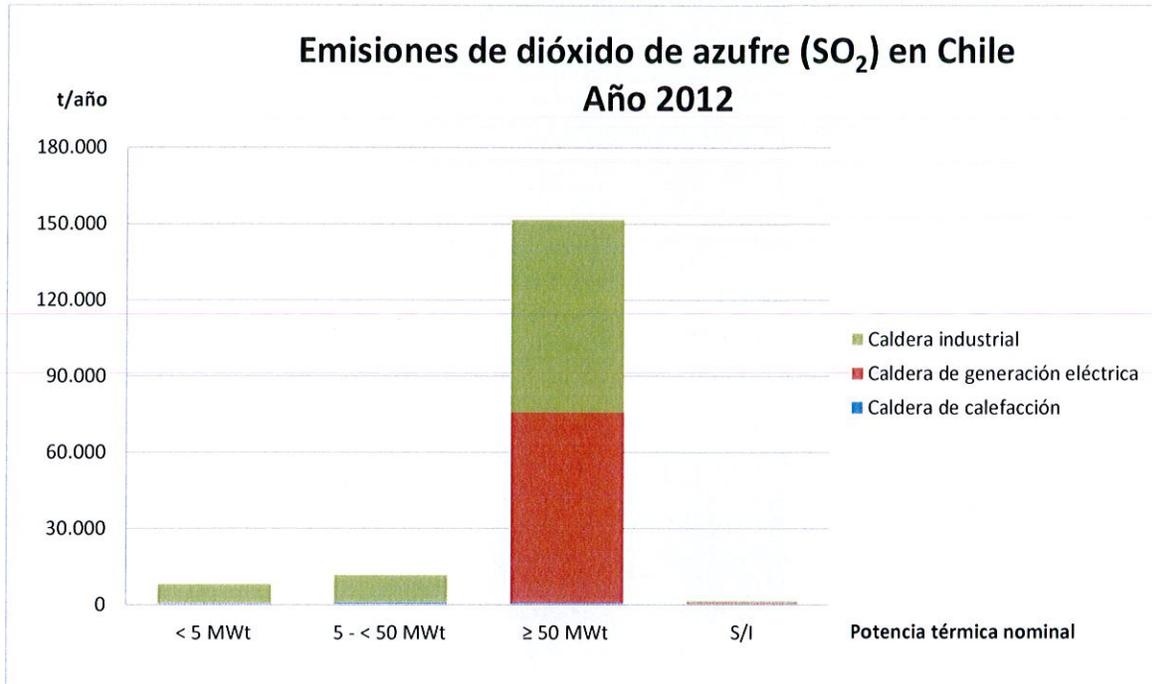
En la Figura 5, se muestran las emisiones de material particulado (MP) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 5: Emisiones de material particulado (MP) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).

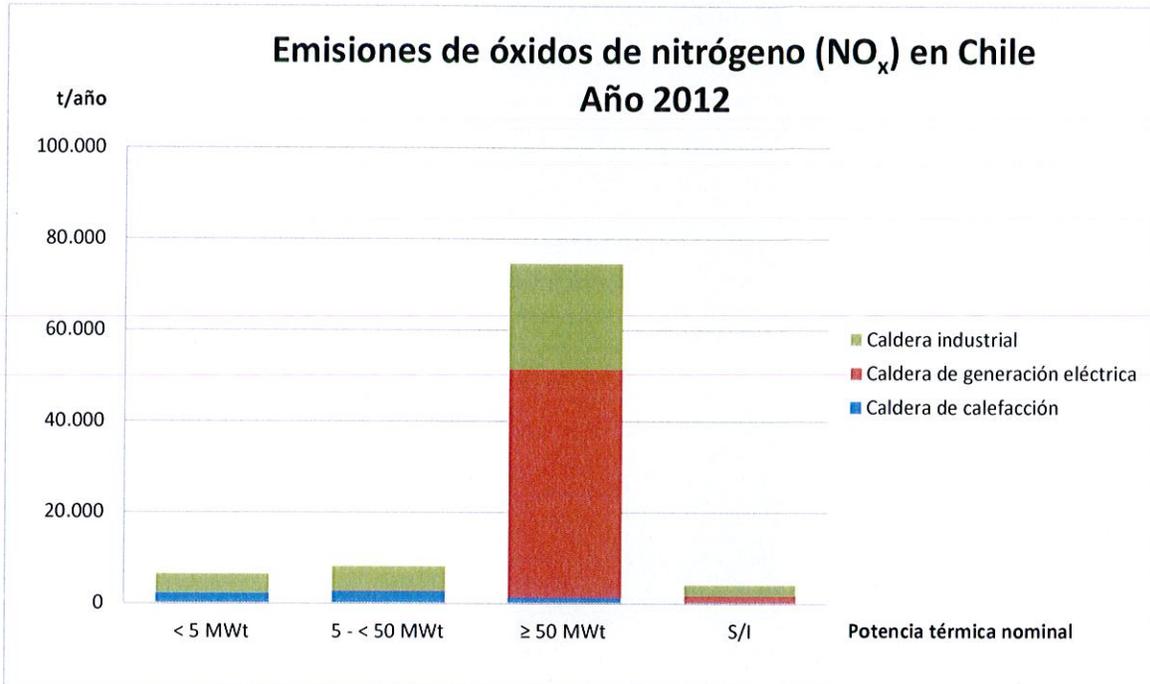
En la Figura 6, se grafican las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 6: Emisiones de dióxido de azufre (SO₂) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).

En la Figura 7, se presentan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).



Fuente: Elaboración propia a partir de F138 (Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas).

Figura 7: Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) por potencia térmica nominal y tipo de caldera en Chile (año 2012).

1.3 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE LÍMITES DE EMISIÓN “CON NORMA” PARA LOS CONTAMINANTES DE INTERÉS EN CALDERAS Y PROCESOS INDUSTRIALES CON COMBUSTIÓN

Un enfoque de regulación es el enfoque neutro, es decir, la regulación no distingue por combustible sino que establece un valor límite de emisión para todas las fuentes emisoras independiente del combustible utilizado. En Chile, el enfoque neutro no ha sido utilizado en normas de emisión de aplicación nacional. En la revisión de expedientes no hay antecedentes que expliquen el por qué. A nivel internacional el enfoque para regular las emisiones al aire de las calderas es diferenciando por tipo de combustible, como por ejemplo: Alemania, Finlandia, España, Polonia, Estados Unidos y las recomendaciones de la Unión Europea (UE) para sus países integrantes.

En términos de diseño regulatorio, no es indiferente el enfoque que se adopte respecto a la evaluación económica de la norma. En efecto, los límites de emisión con enfoque neutro reflejan la efectividad de reducción de aquella fuente emisora clasificada como el “peor caso” (por ejemplo, combustible sólido carbón), liberando al resto de las fuentes emisoras de realizar el mismo esfuerzo (económico) de reducción de emisiones, debido a que cumplirían o estarían muy cerca de cumplir con los límites de emisión del peor caso. En cambio, un enfoque diferenciado por combustible significa que todas las fuentes emisoras que utilicen combustibles sólidos, líquidos o gaseosos deberán reducir sus emisiones de acuerdo a diferentes límites de emisión establecido por tipo de combustible. Económicamente, todas las fuentes realizarían un esfuerzo económico para lograr cumplir con la norma.

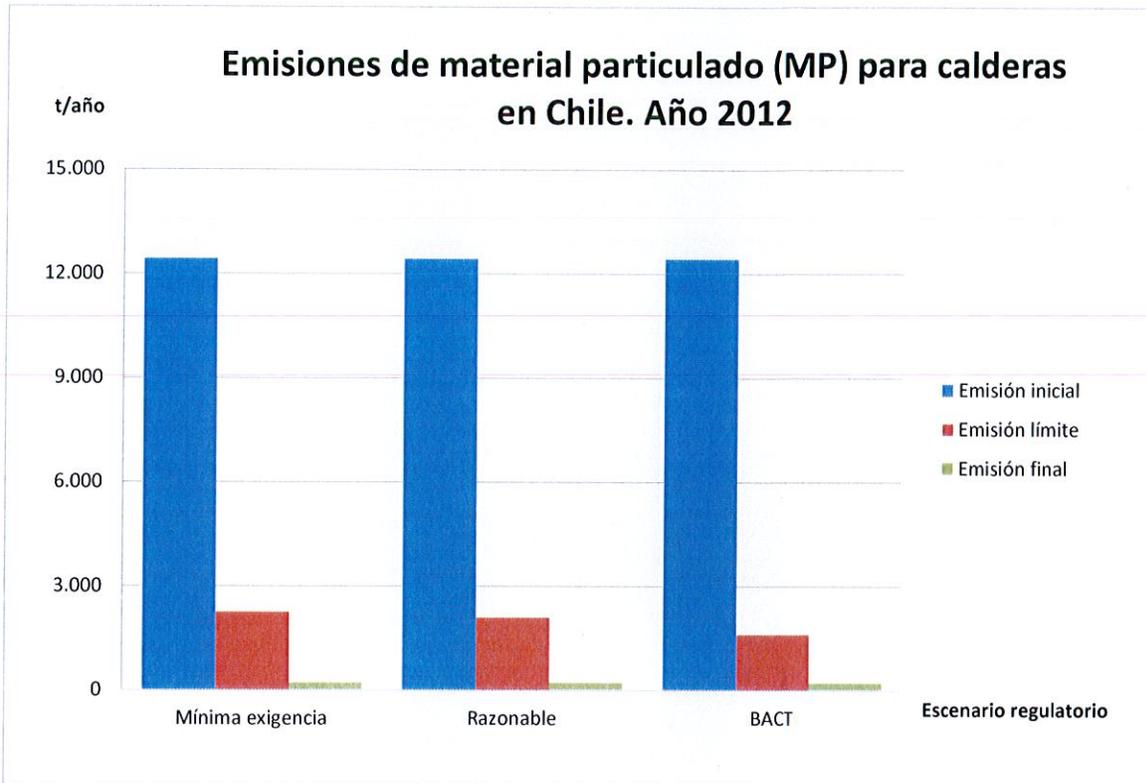
A continuación, se presentan los escenarios de límites de emisión (propuestos por la contraparte técnica):

Tabla 1: Escenarios regulatorios.

Escenario regulatorio	Descripción
Mínima exigencia	Situación actual. Se consideran las recomendaciones del IFC como el estándar mínimo a cumplir. El IFC forma parte del Banco Mundial y recomienda las guías para aquellas industrias o procesos que se localizan en países en vías de desarrollo.
Razonable	Este escenario presenta niveles de emisiones razonables, que se aplican o son incentivados a través de planes de descontaminación atmosférica o mediante el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
BACT	Presenta valores límites de emisión basados en la mejor tecnología de control disponible.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las emisiones de material particulado (MP) para calderas por escenario regulatorio.



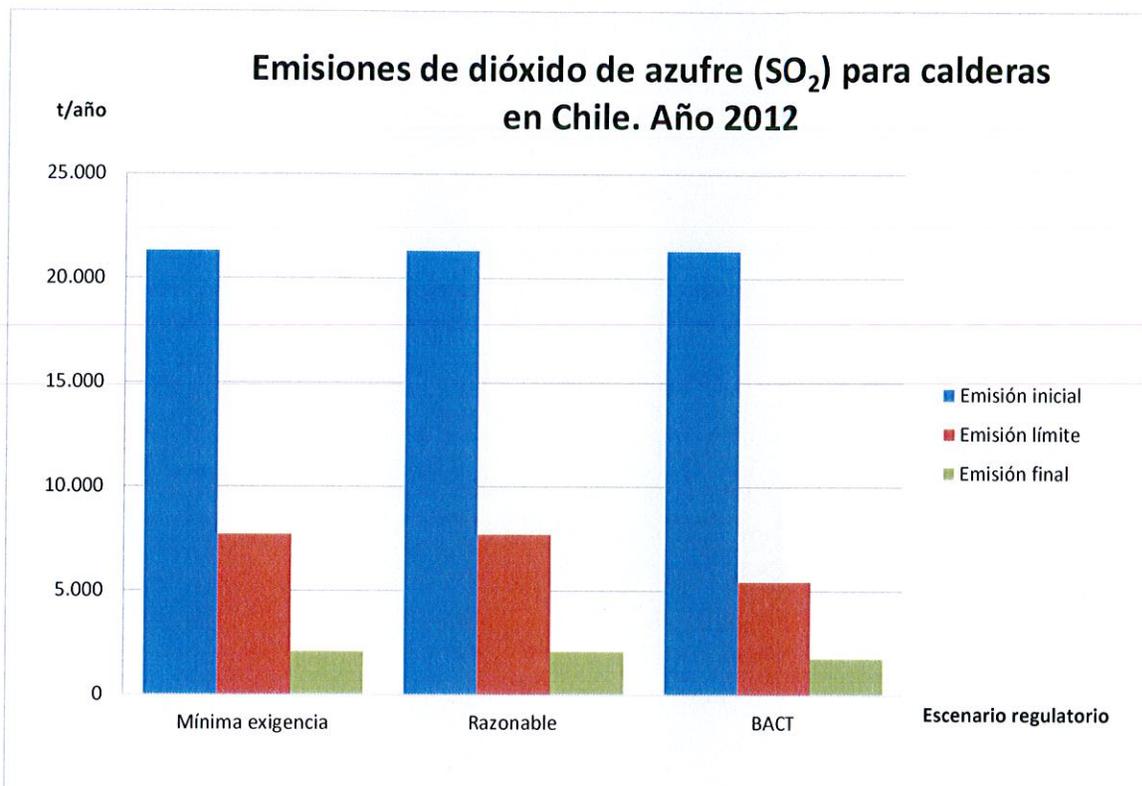
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Emisiones de material particulado (MP) para calderas por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

Para el material particulado (MP), los rangos de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites son de 10.182 t/año en el escenario mínima exigencia, 10.335 t/año en el escenario razonable y 10.829 t/año en el escenario BACT.

Los rangos de reducción entre las emisiones límites y las finales son de 2.035 t/año en el escenario mínima exigencia, 1.882 t/año en el escenario razonable y 1.393 t/año en el escenario BACT.

A continuación, se presentan las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) para calderas por escenario regulatorio.



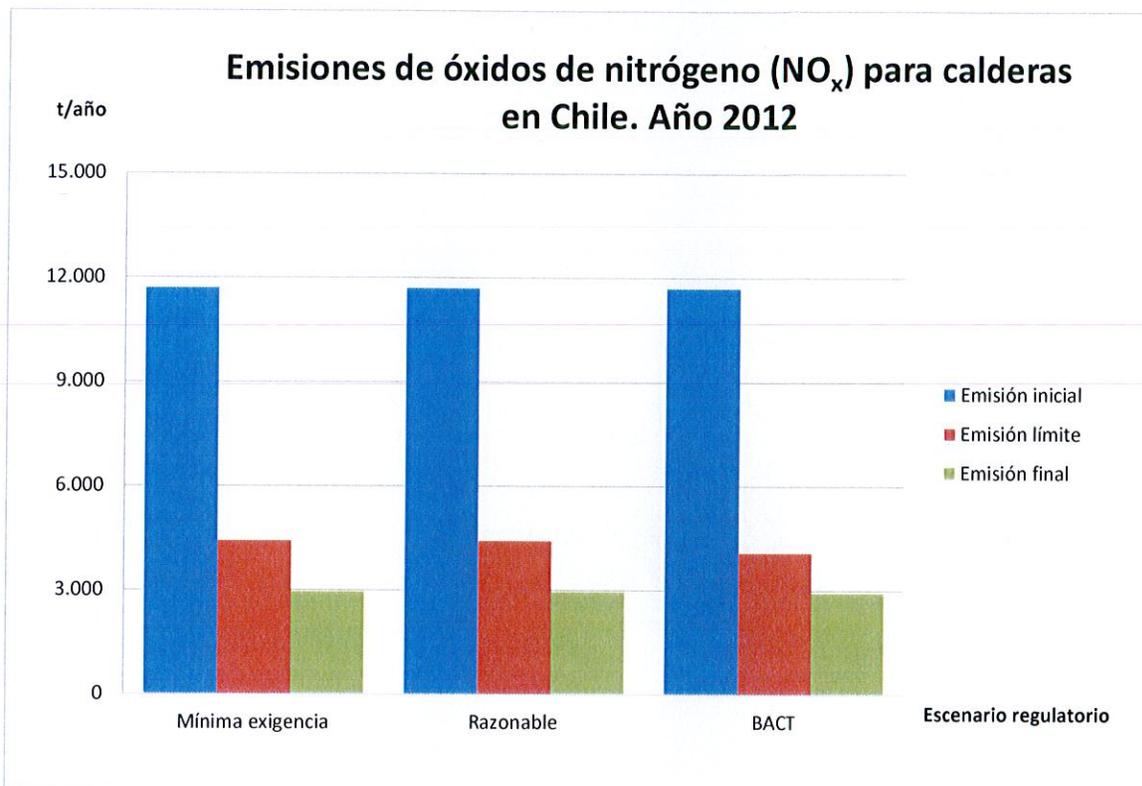
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Emisiones de dióxido de azufre (SO₂) para calderas por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

Para el dióxido de azufre (SO₂), los rangos de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites son de 13.603 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 15.883 t/año en el escenario BACT.

Los rangos de reducción entre las emisiones límites y las finales son de 5.630 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 3.676 t/año en el escenario BACT.

A continuación, se presentan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) para calderas por escenario regulatorio.



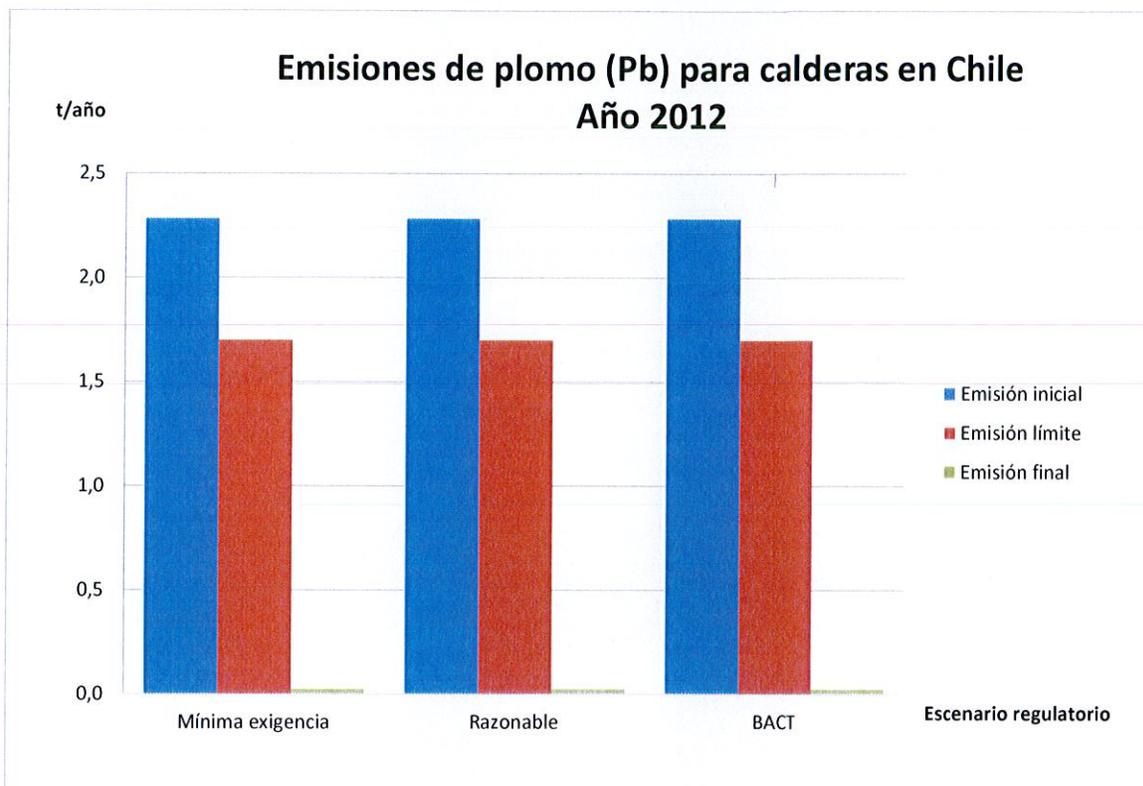
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) para calderas por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

Para los óxidos de nitrógeno (NO_x), los rangos de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites son de 7.274 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 7.622 t/año en el escenario BACT.

Los rangos de reducción entre las emisiones límites y las finales son de 1.475 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 1.151 t/año en el escenario BACT.

A continuación, se presentan las emisiones de plomo (Pb) para calderas por escenario regulatorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Emisiones de plomo (Pb) para calderas por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

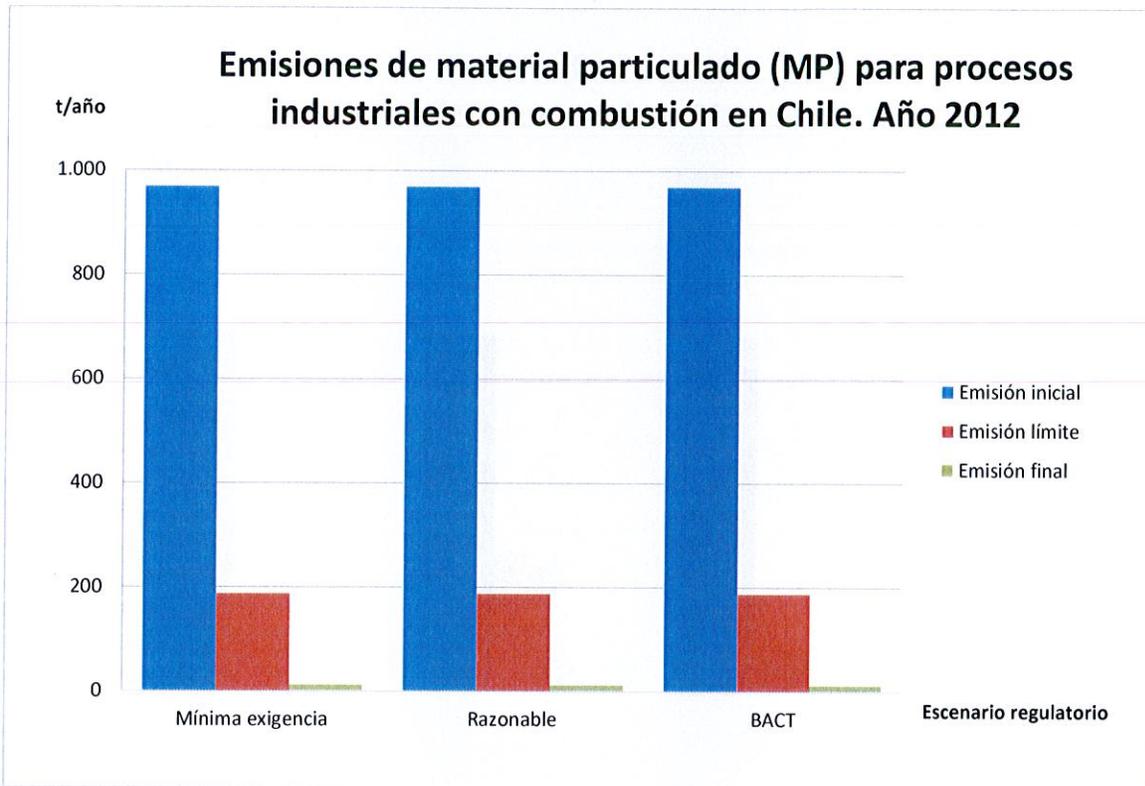
Para el plomo (Pb), el rango de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites es de 1 t/año en los tres escenarios regulatorios.

El rango de reducción entre las emisiones límites y las finales es de 2 t/año en los tres escenarios regulatorios.

No fue posible realizar la comparación para los demás metales pesados de interés, dado que las fuentes que emiten estos metales en ningún caso cumplieron con los criterios de evaluación de los escenarios regulatorios y los criterios del modelo COST.

Las emisiones finales son similares para el material particulado (MP), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el plomo (Pb) en los tres escenarios regulatorios, porque las tecnologías de control son lo suficientemente eficientes para dar cumplimiento a los límites de emisión de los tres escenarios regulatorios.

A continuación, se presentan las emisiones de material particulado (MP) para procesos industriales con combustión por escenario regulatorio.



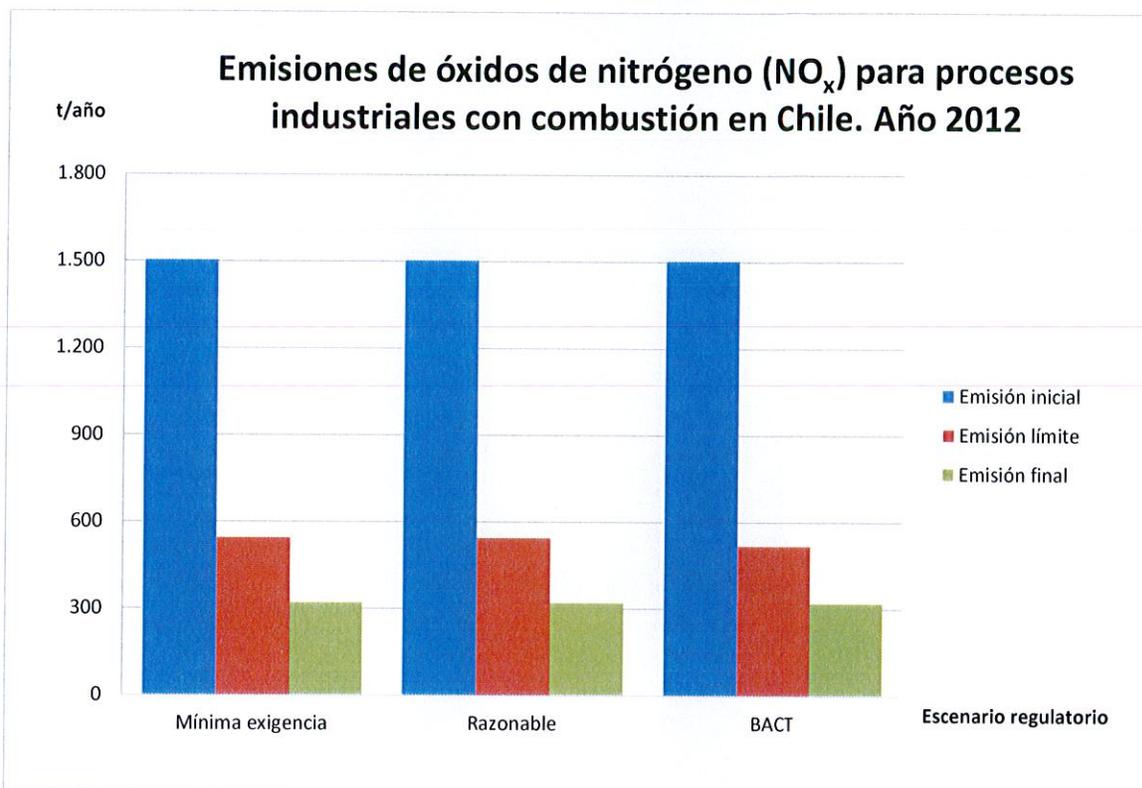
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Emisiones de material particulado (MP) para procesos industriales con combustión por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

Para el material particulado (MP), el rango de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites es de 781 t/año en los tres escenarios regulatorios.

El rango de reducción entre las emisiones límites y las finales es de 176 t/año en los tres escenarios regulatorios.

A continuación, se presentan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) para procesos industriales con combustión por escenario regulatorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14: Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) para procesos industriales con combustión por escenario regulatorio en Chile (año 2012).

Para los óxidos de nitrógeno (NO_x), los rangos de reducción entre las emisiones iniciales y las emisiones límites son de 958 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 986 t/año en el escenario BACT.

Los rangos de reducción entre las emisiones límites y las finales son de 226 t/año en los escenarios mínima exigencia y razonable, y de 198 t/año en el escenario BACT.

No fue posible realizar la comparación para los metales pesados de interés, dado que las fuentes que emiten estos metales en ningún caso cumplieron con los criterios de evaluación de los escenarios regulatorios y los criterios del modelo COST.

Las emisiones finales son similares para el material particulado (MP), el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) en los tres escenarios regulatorios, porque las tecnologías de control son lo suficientemente eficientes para dar cumplimiento a los límites de emisión de los tres escenarios regulatorios.

1.4 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIÓN DE CADA ESCENARIO, EN TÉRMINOS DE EFECTIVIDAD EN LA REDUCCIÓN Y SU COSTO

1.4.1 CRITERIOS CONSIDERADOS

En la Tabla 2, se presentan los resultados del modelo económico para calderas: reducción de emisiones, costos de equipos reductores de emisiones y costo-efectividad de reducción de emisiones.

Tabla 2: Resultados del modelo económico para calderas.

Contaminante	Escenario regulatorio	Reducción de emisiones (t/año)	Costos de equipos reductores de emisiones (USD)	Costo-efectividad de reducción de emisiones (USD/t)
Material particulado (MP)	Mínima exigencia	12.217	155.923.724	12.763
Material particulado (MP)	Razonable	12.217	155.923.724	12.763
Material particulado (MP)	BACT	12.222	156.378.210	12.795
Dióxido de azufre (SO ₂)	Mínima exigencia	19.233	110.129.248	5.726
Dióxido de azufre (SO ₂)	Razonable	19.233	110.129.248	5.726
Dióxido de azufre (SO ₂)	BACT	19.558	111.050.447	5.678
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Mínima exigencia	8.749	14.090.236	1.610
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Razonable	8.749	14.090.236	1.610
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	BACT	8.773	14.120.142	1.609
Plomo (Pb)	Mínima exigencia	2	14.076.171	6.231.050
Plomo (Pb)	Razonable	2	14.076.171	6.231.050
Plomo (Pb)	BACT	2	14.076.171	6.231.050

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3, se presentan los resultados del modelo económico para calderas: reducción de emisiones, costos de equipos reductores de emisiones (VPN) y costo-efectividad de reducción de emisiones.

Tabla 3: Resultados del modelo económico para calderas (VPN).

Contaminante	Escenario regulatorio	Reducción de emisiones (t/año)	Costos de equipos reductores de emisiones (VPN) (USD)	Costo-efectividad de reducción de emisiones (USD/t)
Material particulado (MP)	Mínima exigencia	219.507	2.929.957.933	36.268
Material particulado (MP)	Razonable	219.507	2.929.957.933	36.268
Material particulado (MP)	BACT	219.593	2.933.327.979	36.289
Dióxido de azufre (SO ₂)	Mínima exigencia	310.198	821.287.206	5.333
Dióxido de azufre (SO ₂)	Razonable	310.198	821.287.206	5.333
Dióxido de azufre (SO ₂)	BACT	315.625	828.456.993	5.209
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Mínima exigencia	239.158	255.415.370	1.956
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Razonable	239.158	255.415.370	1.956
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	BACT	239.182	255.451.823	1.956
Plomo (Pb)	Mínima exigencia	61	502.108.835	19.791.359

Contaminante	Escenario regulatorio	Reducción de emisiones (t/año)	Costos de equipos reductores de emisiones (VPN) (USD)	Costo-efectividad de reducción de emisiones (USD/t)
Plomo (Pb)	Razonable	61	502.108.835	19.791.359
Plomo (Pb)	BACT	61	502.108.835	19.791.359

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se presentan los resultados del modelo económico para procesos industriales con combustión: reducción de emisiones, costos de equipos reductores de emisiones y costo-efectividad de reducción de emisiones.

Tabla 4: Resultados del modelo económico para procesos industriales con combustión.

Contaminante	Escenario regulatorio	Reducción de emisiones (t/año)	Costos de equipos reductores de emisiones (USD)	Costo-efectividad de reducción de emisiones (USD/t)
Material particulado (MP)	Mínima exigencia	957	8.839.272	9.236
Material particulado (MP)	Razonable	957	8.839.272	9.236
Material particulado (MP)	BACT	957	8.839.272	9.236
Dióxido de azufre (SO ₂)	Mínima exigencia	621	7.934.900	12.768
Dióxido de azufre (SO ₂)	Razonable	621	7.934.900	12.768
Dióxido de azufre (SO ₂)	BACT	621	7.934.900	12.768
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Mínima exigencia	1.184	5.443.717	4.598
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Razonable	1.184	5.443.717	4.598
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	BACT	1.184	5.443.717	4.598

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se presentan los resultados del modelo económico para procesos industriales con combustión: reducción de emisiones, costos de equipos reductores de emisiones (VPN) y costo-efectividad de reducción de emisiones.

Tabla 5: Resultados del modelo económico para procesos industriales con combustión (VPN).

Contaminante	Escenario regulatorio	Reducción de emisiones (t/año)	Costos de equipos reductores de emisiones (VPN) (USD)	Costo-efectividad de reducción de emisiones (USD/t)
Material particulado (MP)	Mínima exigencia	22.052	137.314.787	58.870
Material particulado (MP)	Razonable	22.052	137.314.787	58.870
Material particulado (MP)	BACT	22.052	137.314.787	58.870
Dióxido de azufre (SO ₂)	Mínima exigencia	21.866	147.498.786	6.746
Dióxido de azufre (SO ₂)	Razonable	21.866	147.498.786	6.746
Dióxido de azufre (SO ₂)	BACT	21.866	147.498.786	6.746
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Mínima exigencia	39.745	95.898.570	8.841
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	Razonable	39.745	95.898.570	8.841
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	BACT	39.745	95.898.570	8.841

Fuente: Elaboración propia.