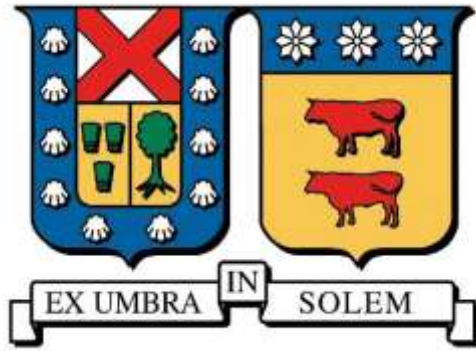




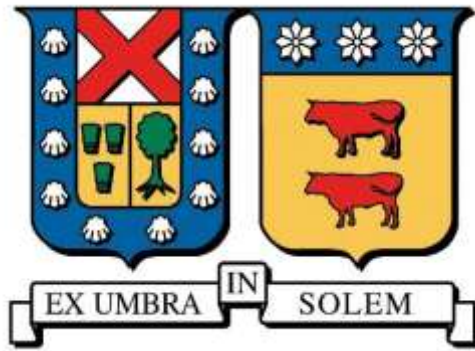
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN
NACIONAL DE MITIGACIÓN DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR
ENERGÍA”**

Marisol Marcela Sánchez Wolf

MAGÍSTER EN ECONOMÍA ENERGÉTICA

2018



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN
NACIONAL DE MITIGACIÓN DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR
ENERGÍA”**

Tesina de grado presentada por

Marisol Marcela Sánchez Wolf

como requisito parcial para optar al grado de

Magister en Economía Energética

Profesor Guía
Juan Carlos Olmedo Hidalgo

Profesor Correferente Interno
MSc. Ing. Wilfredo Jara Tirapegui

Profesor Correferente Externo
Ingrid Flores

Julio 2018

TITULO DE LA TESINA:

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN NACIONAL DE MITIGACIÓN
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR ENERGÍA**

AUTOR:

Marisol Marcela Sánchez Wolf

TRABAJO DE TESINA, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de Magíster en Economía Energética del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Juan Carlos Olmedo Hidalgo.....

MSc, Ing. Wilfredo Jara Tirapegui.....

Ingrid Flores.....

Santiago, Chile. Julio de 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores y compañeros del MEE que guiaron este proceso de aprendizaje, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi hijo y marido por acompañarme hasta el final.

DEDICATORIA

A Matías y Mauricio mi familia,

A Ingrid y Rubén mis padres,

Porque sin ustedes esto no hubiese sido posible.

RESUMEN

La dependencia de combustibles fósiles para abastecer las necesidades energéticas actuales genera Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales se acumulan en la atmósfera y provocan un aumento global de la temperatura de la tierra. Por esta razón, a nivel mundial se han propuesto distintas medidas de mitigación y adaptación que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y detener el aumento de temperatura global.

En 1995, bajo el sistema de las Conferencias de las Partes (COP), los países iniciaron negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático. Bajo este contexto, el encuentro en Copenhague (2009), COP 15, surge la iniciativa de favorecer la estabilización del clima, con un aumento máximo de 2°C sobre la temperatura preindustrial (1750).

El gran reto de la Conferencia de las Partes - COP21 - de París fue renovar el compromiso iniciado en Kyoto y aprobar un acuerdo vinculante que reduzca las emisiones y evite el aumento de la temperatura a más de 2 °C. En el Acuerdo París (COP 21) Chile compromete reducir en un 30% la intensidad de emisiones, es decir bajar de 1,02 [tCO₂e/MMCLP\$]¹ a 0,71 [tCO₂e/MMCLP\$]. Para el caso del sector energía se considera que la intensidad del sector según año 2007 corresponde a 0,75 [tCO₂e/MMCLP\$], por lo que cumplir con la meta de un 30% correspondería a alcanzar una intensidad de 0,52 [tCO₂e/MMCLP\$].

Dentro de este contexto, Chile ha presentado un plan de mitigación de emisiones para el sector energía denominado Plan Nacional. En la presente investigación se analiza y desarrolla una propuesta de mejora al Plan Nacional basada en la experiencia internacional.

Bajo el contexto de políticas públicas, al ser compleja la transición hacia una forma de desarrollo con menor intensidad en carbono, no existe una única política o medida que permita garantizar una mitigación de GEI del todo efectiva y que resuelva el problema del cambio climático. Así, una combinación de instrumentos suele ser la estrategia más utilizada por los distintos estados y partes involucradas para enfrentar el cambio climático. Los instrumentos pueden orientarse directamente a la disminución de emisiones de CO₂ o estar diseñados para la reducción del consumo energético, el cual logra disminuir las emisiones como consecuencia.

Dentro de las políticas públicas implementadas por el gobierno de Chile, se encuentra la norma de emisiones a las centrales termoeléctricas que si bien no establece un límite explícito de emisiones de GEI, constituye un instrumento a través del cual es posible fijar estándares para centrales termoeléctricas que resulten menores en emisiones de GEI.

¹ Base 2011

Una segunda política corresponde a la ley 20/25 (N° 20.698) de energías renovables no Convencionales donde no se distingue entre distintas tecnologías y cada una tiene requerimientos diferentes para impulsar su desarrollo. Por otro lado las cuotas que establece la ley no son representativas y pueden duplicarse a fines del 2024. Finalmente son los generadores los que deciden si compran energía con ERNC o pagan la multa.

Una tercera política corresponde a la Ley 20.780 (Art. 8) basada en los impuestos a las emisiones, que pueden promover la sustitución de productos, cambios en las estructuras de producción de energía y fomentar el ahorro energético, así como la inversión en mejora de la eficiencia energética. Sin embargo, una de las desventajas de este impuesto que se visualizan en el corto plazo corresponde al aumento de los precios de los productos relacionados, y por ende los costos de las empresas, debilitando la competitividad de las industrias intensivas en energía limitando el crecimiento económico.

Dentro de los resultados, se determinó que las medidas propuestas en este plan no son suficientes para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones adquiridos por Chile en la COP 21 y que se debe hacer esfuerzos adicionales. Para esto se propone mejorar los estándares de eficiencias en plantas térmicas, tomar como base el sistema de comercio de la Unión Europea (EU ETS) y establecer nuevas políticas que desalienten el uso de autos convencionales y promuevan la electromovilidad.

De la experiencia internacional, se infiere que los impuestos al carbono, no es una medida efectiva para la mitigación de GEI, ya que es de difícil contrastación. En varios casos no hay efectos relevantes, ni es posible establecer certeza entre la reducción de emisiones y la existencia del impuesto. En un informe elaborado por el Banco Mundial, se señala que en los países donde se ha logrado reducciones de emisiones de carbono, los esquemas de impuestos al carbono se han complementado con otras medidas como es la fijación de estándares de emisión.

Del análisis MACC se infiere que las medidas más costo-eficientes corresponden a las asociadas al sector transporte en las que se encuentra la electro movilidad de taxis y vehículos livianos. Sin embargo, cabe destacar la necesidad de enfocar los esfuerzos para eliminar las barreras a la implementación de las medidas más costo-efectivas, que en su conjunto generarían un beneficio económico neto y permitirían cumplir con los compromisos internacionales al menor costo posible.

Electrificar el transporte y la calefacción en hogares, así como otros usos industriales que pueda tener la electricidad, se torna interesante cumplir con la reducción de GEI. Se observa un punto importante en el transporte, no sólo por fomentar la electrificación masiva de los distintos medios, sino también, por promover un cambio a modos de transporte más sustentables y bajos en emisiones. Sin embargo, se debe tener en consideración como afecta al desempleo, ya que los talleres que existen hoy en día quedarán vacantes debido a la disminución a largo

plazo de los automóviles convencionales.

En base a la experiencia internacional se observa que la tendencia a futuro en un corto plazo se basa en la mejora de las plantas térmicas con el retiro de unidades muy antiguas e ineficientes, las mejoras operacionales en equipos críticos y la fijación de estándares de eficiencia para plantas nuevas.

Finalmente el sistema que tiene la Unión Europea EU ETS, es un sistema que tiene la ventaja en que se fija el límite máximo por industria lo que asegura y obliga a una reducción de emisiones de GEI y no se centra sólo en las centrales termoeléctricas, sino que abarca todas las industrias.

ABSTRACT

The reliance on fossil fuels to supply current energy needs generates greenhouse gases (GHG), which accumulates in the atmosphere causing a global rise of the earth temperature. Because of this, the whole world there have been proposed several mitigation and adaptation measures in order to improve people quality of life and stop the increase of global temperature.

In 1995, under the system of Conferences of the Parties (COP), countries began negotiations to strengthen the global response to climate change. In this context, at the meeting of Copenhagen at 2009 (COP 15), arises the initiative in favor of the stabilization of the climate, inside a range of 2°C as a maximum increase above the pre-industrial temperature (1750).

The biggest challenge of Paris Conference of the Parties - COP21 - it were to renew the commitment initiated in Kyoto and to approve a binding agreement to reduces emissions and to avoid the increase in temperature more than 2 °C. In the Paris Agreement (COP 21), Chile commits to reduce the intensity of emissions by 30%, that is, to decrease from 1,02 [tCO₂e / MMCLP \$] to 0,71 [tCO₂e / MMCLP \$]. In the case of the energy sector, it is considered that the intensity of emission to the year 2007 corresponds to 0,75 [tCO₂e / MMCLP \$], therefore in order to reach the target, the intensity of emission should be 0,52 [tCO₂e / MMCLP \$].

Within this context, Chile has presented an emission mitigation plan for the energy sector called the National Plan. In this research, an improvement proposal to the National Plan based on international experience it is analyzed and developed.

In the context of public policies, due the complexity of the transition to a kind of development with lower carbon intensity, there is not a single policy or measure to

guarantee effectiveness in GHG mitigation or to solve the problem of climate change. Thus, between the different countries and parties involved a combination of instruments is usually the strategy mostly applied to face climate change. Instruments can be directly oriented to the reduction of CO₂ emissions or be designed for the reduction of the energy consumption, which manages to reduce emissions as a consequence.

Among the public policies implemented by the government of Chile, there is the emission standard for thermoelectric power plants that, although it does not establish an explicit GHG emission limit, constitutes an instrument through which it is possible to set standards to regulate thermoelectric plants that has as a result lower GHG emissions.

A second policy corresponds to the law 20/25 (No. 20.698) of non-conventional renewable energies where there is no distinction between different technologies and each one has different requirements to promote its development. On the other hand, the quotas established by the law are not representative and could be duplicated by the end of 2024. Finally, are the generators who decide whether buy energy with NCRE or pay the fines.

A third policy it refers to Law 20.780 (Article 8) based on emissions taxes, which can promote the substitution of products, changes in energy production structures and encourage energy savings, as well as investment on improving energy efficiency. However, one of the disadvantages of this tax seen in the short term corresponds to the increase on prices of related products, and therefore the companies costs, weakening the competitiveness of energy-intensive industries putting and overall limit to economic growth.

Within the results, it was determinated that the measures proposed in this plan are not sufficient to fulfill the commitments of emission reduction acquired by Chile al COP 21 and those additional efforts must be made. For this, it is proposed to improved the efficiency standards in thermal facilities, based on the European Union's trade system (EU ETS) and establish new policies that discourage the use of conventional cars and promote electromobility.

From international experience, it is inferred that carbon taxes are not an effective measurement for GHG mitigation, because it is too difficult to be tested. In several cases, there are no relevant effects, nor is it possible to establish certainty between the reduction of emissions and the existence of the tax. In a report developed by the World Bank, it is pointed out that in countries where carbon emission reductions have been achieved, carbon tax schemes have been complemented with other

measures such as the setting of emission standards.

From the MACC analysis it is inferred that the most cost-efficient measurements correspond to those associated to the transport sector in which could be mentioned the electromobility of taxis and light vehicles. However, it is worth mentioning the need to points efforts to eliminate barriers to the implementation of more cost-effective measures, which together would generate a net economic benefit and would allow to meet international commitments at the lowest possible cost.

Electrify transport and house heating, as well as other industrial uses that may use electricity, it becomes interesting to fulfill with the reduction of GHG. An important point is viewed in the transport sector, not only to promote the massive electrification of different means, but also, to promote a change to more sustainable and low emissions transport ways. However, it must be taken into account how this impacts on unemployment, since the workshops that exist today will be vacant due to the long-term decline of conventional cars.

Based on international experience, it is observed that the short-term future trend it is based on the improvement of thermal plants with the removal of very old and inefficient units, operational improvements in critical equipment and the setting of efficiency standards for new plants.

Finally, the system that has the European Union EU ETS, is a system that has the advantage that sets the maximum limit per industry which ensures and requires a reduction in GHG emissions and it is not focused only on thermoelectric plants, but It covers all industries.

GLOSARIO

BAU:	Business as usual (Caso de Referencia)
CCSU:	Captura, Almacenamiento y Utilización del CO ₂
CERs:	Reducciones Certificadas de Emisiones
CH₄:	Metano.
CMNUCC:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
CNE:	Comisión Nacional de Energía.
CO₂:	Dióxido de Carbono.
COP:	Conferencia de las Partes.
CPR:	Comercial Publico Residencial.
EUAs:	Derechos de Emisión Europeos.
EU ETS:	Sistema de comercio de permisos de admisión de la Unión Europea.
GEI:	Gases de Efecto Invernadero.
HFC:	Hidrofluorocarbonos.
INDC:	Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional.
INGEI:	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
IPPU:	Procesos industriales y uso de productos.
MACC:	Marginal Abatement Cost Curve.
MDL:	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEPCO:	Mecanismo de Estabilización de Precios de los Combustibles.
MMA:	Ministerios de medio ambiente.
MP:	Material Particulado.
N₂O:	Óxido Nitroso.
NDC:	Contribución Nacional Determinada.
NOx	Óxidos de nitrógeno (NOx).
OCDE:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
ONU:	Organización de Naciones Unidas.
PFC:	Perfluorocarbonos.

PNUMA: Programa de las naciones unidas para el medio ambiente.
SF6: Hexafloruro de Azufre
SO₂: Dióxido de azufre.
UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	21
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1 LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO	22
5.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO	24
5.3 CONTEXTO HISTÓRICO.....	24
5.3.1 ACUERDO PARÍS – COP 21	26
6. ESTADO DEL ARTE	28
6.1 CONTEXTO MUNDIAL DE GEI	28
6.1.1 ANTECEDENTES MUNDIALES DE GEI.....	29
6.2 CONTEXTO NORMATIVO MUNDIAL.....	32
6.2.1 IMPUESTOS AL CARBONO	32
6.2.2 LEY DE ERNC.....	33
6.2.3 CAP AND TRADE.....	35
6.2.4 OTROS.....	35
6.3 CONTEXTO DE MITIGACIÓN DE GEI MUNDIAL	35
6.3.1 CONTRIBUCIONES NACIONALES DETERMINADAS (NDC).....	35
6.3.2 MECANISMOS INTERNACIONALES PARA CUMPLIR CON LAS NDCS	36
6.4 CONTEXTO GEI EN CHILE.....	39
6.4.1 CONTRIBUCIÓN DE GEI POR SECTOR	41
6.4.2 INDICADORES DE INTENSIDAD	43
6.4.3 DESCRIPCIÓN SECTOR ENERGÍA.....	43
6.4.4 CURVAS DE ABATIMIENTO.....	48
6.5 CONTEXTO NORMATIVO EN CHILE	49
6.5.1 LEY N° 20.780 DE REFORMA TRIBUTARIA.....	49
6.5.2 LEY N° 18.502 IMPUESTO ESPECÍFICO A LOS COMBUSTIBLES	51
6.5.3 LEY DE ERNC.....	52
6.5.4 ACUERDOS DE PRODUCCIÓN LIMPIA	54
6.6 PLAN DE MITIGACIÓN DE EMISIONES SECTOR ENERGÍA	54
6.6.1 POLÍTICAS CONSIDERADAS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN	55
6.6.2 RELACIÓN DEL PLAN CON LA PEN	56
6.6.3 PAQUETES DE MEDIDAS CLAVES DEL PLAN.....	58
6.6.4 EFECTOS HIPOTÉTICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS	60

7. DESARROLLO	63
7.1 ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS IMPLEMENTADAS POR EL GOBIERNO	63
7.2 ANÁLISIS PLAN DE MITIGACIÓN SECTOR ENERGÍA.....	64
7.2.1 COMERCIAL, PÚBLICO RESIDENCIAL	64
7.2.2 GENERACIÓN.....	66
7.2.3 INDUSTRIA Y MINERÍA	66
7.2.4 TRANSPORTE	68
7.3 COMPARACIÓN CON OTRAS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN A NIVEL MUNDIAL	69
7.3.1 EJEMPLO DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN POR PAÍS.....	69
7.3.2 RESUMEN DEL ANÁLISIS.....	77
8. PROPUESTA DE POLÍTICA PÚBLICA PARA EL SECTOR ENERGÍA.....	79
8.1 INTERPRETACIÓN DEL COMPROMISO NACIONAL Y LINEAMIENTOS.....	79
8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO	81
8.2.1 CURVA DE ABATIMIENTO - 2030.....	82
8.3 OPORTUNIDADES SEGÚN EXPERIENCIA INTERNACIONAL	84
8.3.1 CASO ESTUDIO ELECTROMOVILIDAD.....	86
9. CONCLUSIONES	89
10.RECOMENDACIONES.....	91
11.BIBLIOGRAFÍA	92
11.1 DOCUMENTACIÓN CONSULTADA	92
11.2 SITIOS WEB DE REFERENCIA.....	94
12.ANEXOS.....	95
ANEXO I: CATEGORÍAS DE FUENTE Y SUMIDERO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	95
ANEXO II: CATEGORÍAS DE FUENTE Y SUMIDERO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	96
ANEXO III: PRINCIPALES SUPUESTO DE SIMULACIÓN CONSIDERADOS EN EL PLAN.....	99
ANEXO IV: SUPUESTOS UTILIZADOS PARA CADA MEDIDA EN LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.	100
ANEXO V: SUPUESTOS UTILIZADOS PARA CASO DE ELECTROMOVILIDAD.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura de la tierra y concentración de CO ₂ en la atmósfera.....	23
Figura 2. Principales fuentes contaminantes.....	23
Figura 3. Emisiones de CO ₂ a nivel mundial expresadas en kilo toneladas	29
Figura 4. Emisiones de GEI a nivel mundial por sectores económicos	30
Figura 5. Emisiones de CO ₂ a nivel mundial relacionadas con el sector energía expresadas en Giga toneladas.....	31
Figura 6. Contribución por país de Emisiones de CO ₂ serie 1850-2011	32
Figura 7. Emisiones de CO ₂ en Chile expresadas en Kilo toneladas.	40
Figura 8. Contribución por sector de Emisiones totales de GEI – Año 2016.....	42
Figura 9. Emisiones de GEI totales por PIB (t CO ₂ eq/MMCLP), serie 1990-2016.....	43
Figura 10. Contribución de Emisiones por subcategorías en el sector Energía – Año 2016.	44
Figura 11. Producción de electricidad y calor como actividad principal: generación eléctrica por tipo de fuente y emisiones de GEI (kt CO ₂ e) - serie 1990-2016.	45
Figura 12. Curva de abatimiento - MACC	48
Figura 13. Distribución de porcentajes de inyecciones de ERNC	53
Figura 14. Emisiones GEI de Chile expresada en MtCO ₂ e por sector con detalle del sector energía.....	55
Figura 15. Paquetes que componen el Subsector Generación	59
Figura 16. Paquetes que componen el Subsector Comercial, Público, Residencial	59
Figura 17. Paquetes que componen el Subsector transporte	59
Figura 18. Paquetes que componen el Subsector Industria y Minería	60
Figura 19. Emisiones GEI 2014 – 2030 Escenario “Políticas Actuales” al año 2030.	61
Figura 20. Escenarios de mitigación del sector energía.	61
Figura 21. Paquetes de medidas del Sector CPR.	65
Figura 22. Paquetes de medidas del Sector Generación.	66
Figura 23. Paquetes de medidas del Sector Industria y Minería.	67
Figura 24. Paquetes de medidas del Sector Transporte.	68
Figura 25. Ruta Energética.....	80
Figura 26. Curva de Abatimiento MMton CO ₂ e año 2030	83
Figura 27. Emisiones en miles de toneladas de CO ₂ e para 2 escenarios y costos de inversión y O&M.	88
Figura 28. Categorías de fuente y sumidero de GEI	95
Figura 29. Paquetes de medidas del Sector Generación.	96
Figura 30. Paquetes de medidas del Sector Transporte.	97
Figura 31. Paquetes de medidas del Sector Industria y Minería.	98
Figura 32. Paquetes de medidas del Sector Comercial,Público,Residencial.	99
Figura 33. Principales supuestos de simulación.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Poder de Calentamiento de los GEI.	22
Tabla 2. Características de Impuestos al carbono en otros países	33
Tabla 3. Programas de incentivos de ERNC en otros países.....	34
Tabla 4. NDC presentados por otros países	36
Tabla 5. Emisiones de GEI (kt CO ₂ e) por sector excluyendo FOLU (serie 1990-2016)	41
Tabla 6. Emisiones de GEI (kt CO ₂ e) por subcategorías del sector energía (serie 1990-2013).....	44
Tabla 7. Barreras a la eficiencia energética	67
Tabla 8. Resumen de medidas de mitigación actualizadas con una tasa de descuento de un 10%.....	82
Tabla 9. Base de datos considerados para caso estudio	87
Tabla 10. Principales supuestos utilizados para la evaluación económica.	100
Tabla 11. Resultados obtenidos a partir de supuestos.....	104

1. INTRODUCCIÓN

Como ha sido manifestado recientemente en distintos medios y publicaciones científicas, los últimos tres años (2015 a 2017) han sido los más cálidos registrados en el Planeta, y Chile ha sido testigo de cómo este fenómeno impacta el bienestar de las personas y de la economía. El cambio climático implica hoy una amenaza para la prosperidad y calidad de vida del país y no enfrentarlo, en conjunto con las naciones, significa hipotecar el desarrollo futuro del planeta.

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Chile se incrementaron en un 113,4 % entre 1990 y 2013², donde el principal sector emisor en todo este período fue energía, contribuyendo con un 77,4% al total de emisiones en 2013.

En los últimos años, Chile ha dado pasos importantes en lo que se ha llamado internacionalmente “descarbonizar la economía”, generando las condiciones que han contribuido a la disminución de las emisiones de GEI. Entre ellas destacan la implementación de un impuesto a las emisiones de fuentes fijas, el que incluye a la generación de energía en base a carbón, diésel y gas natural, la exigencia legal de porcentajes mínimos de generación con ERNC, la definición de incentivos que han facilitado la expansión de las ERNC, la implementación de iniciativas e instrumentos de fomento de la eficiencia energética, el desarrollo participativo de una visión energética nacional de cara a 2050, así como la creación de la Agencia Chilena para la Sustentabilidad y el Cambio Climático³.

El Acuerdo París del año 2015, convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático conocida como COP 21, tuvo como objetivo comprometer a todas la naciones con medidas tendientes a reducir o moderar las emisiones de GEI de cada una de las naciones. En ella, Chile se comprometió en su Contribución Nacional Determinada (NDC)⁴ a:

- Reducir en un 30% la intensidad de emisiones de GEI al 2030, tomando como año base el 2007, pudiendo llegar a un 45% con donaciones internacionales.
- Manejo sustentable de 100.000 ha de bosque nativo y forestación de otras 100.000 ha con especies nativas.

² “Informe del inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero de Chile, Serie 1990 – 2013”. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, 12 Mayo 2017.

³ www.precioalcarbonochile.cl

⁴ Realizada cada 5 años

En ese contexto, el Ministerio de Energía ha desarrollado un Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el sector energía⁵, el que fue aprobado por el Gobierno el 4 de diciembre de 2017. Éste se enmarca en los compromisos adquiridos por Chile a nivel internacional para hacer frente a los efectos del cambio climático y en coherencia con las metas que plantea la Política Energética Nacional al 2050. Este plan está referido al primer pilar de los cinco principales que conforman la Contribución Nacional Determinada (NDC)⁶.

Por lo anterior, la elaboración de esta tesina tiene como objetivo general realizar un análisis del plan nacional de mitigación de GEI identificando sus fortalezas y debilidades centrándose en la potencial efectividad de las propuestas planteadas para alcanzar los objetivos fijados en el compromiso adquirido en la COP 21.

⁵ 77,4% de las emisiones durante el periodo 1990 – 2013 corresponden al consumo de combustibles fósiles para generación, confort térmico de viviendas, transporte y procesos industriales.

⁶ Ministerio de Energía

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar un análisis del plan nacional de mitigación de GEI para el sector energía, identificando sus fortalezas y debilidades.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una descripción y análisis de los compromisos de reducción de emisiones GEI adquiridos por Chile en la COP 21.
- Realizar un análisis de la contribución de emisiones GEI de los sectores de la economía de Chile, en la globalidad de emisiones GEI del país.
- Describir la definición del sector energía y descomponer los sub sectores emisores.
- Realizar una descripción y análisis de las alternativas seleccionadas por la autoridad en el sector energía para reducir emisiones GEI.
- Analizar el impacto de políticas públicas implementadas por el gobierno en las emisiones GEI, tales como: impuesto a las emisiones de la reforma tributaria de 2014, Ley ERNC e impuesto específico a los combustibles.
- Analizar el impacto de las medidas voluntarias de los sectores de la economía, tales como la reciente declaración de no continuar desarrollando centrales termoeléctricas a carbón.
- Realizar un análisis fortalezas y debilidades del plan de mitigación para el sector energía.
- Comparar el plan de mitigación de Chile con otras estrategias de mitigación de emisiones GEI a nivel mundial.
- Proponer mejoras al Plan de Mitigación GEI.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El calentamiento global terrestre, efecto producido por el aumento de los Gases de Efecto Invernadero, implica ineludiblemente realizar gestión sobre el cambio climático. Es por esta razón que Chile, en base a los compromisos establecidos y adquiridos en la COP 21 y la Política Energética Nacional, elaboró un Plan de Mitigación del Sector Energía, basado en acciones tendientes a cumplir las metas comprometidas en su NDC.

El Plan de Mitigación realiza un análisis de las medidas de la Política Energética al año 2050 y su impacto en reducción de emisiones al 2030, dando respuesta al compromiso que Chile estableció bajo el Acuerdo de Paris (COP21)⁷. Es primera vez que Chile establece un marco de política de reducción de emisiones.

En la presente investigación se revisará en detalle el plan de mitigación haciendo énfasis en el análisis que se hace en el plan para el sector de energía, identificando posibles mejoras a través de un análisis de sus fortalezas, y debilidades para contribuir al cumplimiento de las metas país propuestas en la COP 21.

A partir de un análisis del plan nacional de mitigación de GEI del sector energía, verificar si cumple con los criterios o condiciones necesarias para cumplir lo propuesto proponiendo posibles mejoras.

⁷UNFCCC: COP21

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

- **Realización del Marco teórico**

El desarrollo del marco teórico considera una revisión bibliográfica básica que introduce el tema de esta tesina la cual se obtiene de internet, tesinas de años anteriores, publicaciones y cátedras.

- **Revisión del estado del arte**

El desarrollo del estado del arte considera una revisión bibliográfica en internet de las páginas que estén relacionadas con el tema tanto en el ámbito Nacional como el internacional. Considera la regulación vigente en materia de emisiones de GEI, cantidad de emisiones de CO₂e y su contribución por sector.

- **Desarrollo del análisis del plan**

El desarrollo del análisis considera información disponible de talleres que se han realizado dentro de este contexto, políticas públicas implementadas en el país. Se toma en consideración opiniones de expertos del tema publicadas en noticias en la web. Finalmente se realizará un análisis de fortalezas y debilidades.

- **Desarrollo de propuesta de política pública**

En base a la información recopilada y analizada anteriormente se realiza una propuesta de política pública, en donde se analizan los costos de ésta y el impacto que genera en el PIB del país. Para esto, se utiliza información disponible en sitios Web, experiencia de expertos en economía y energía, información de cátedras del Magíster y se aplican conocimientos de evaluación de proyectos.

- **Presentación y análisis de resultados**

Los resultados se presentan a partir del desarrollo de los capítulos anteriores, identificando y rescatando las fortalezas y debilidades que permitan enriquecer el desarrollo del Plan de Mitigación para cumplir con los compromisos adquiridos e ir más allá en el tema de mitigación de GEI, sin perjudicar el crecimiento del país.

- **Conclusiones y Recomendaciones**

Las conclusiones se elaboran a partir del desarrollo de la tesina, información recabada y análisis de resultados identificando los ítems más importantes y las recomendaciones pertinentes al tema.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Los Gases de Efecto Invernadero

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se encuentran de manera natural en la atmósfera, han sido esenciales para la supervivencia de los seres humanos y otros seres vivos ya que son los responsables de mantener la temperatura terrestre (15°C) a través del efecto invernadero natural y hacer que ésta sea habitable⁸. Sin embargo, están siendo incrementados por la actividad humana, desde el inicio de la Revolución Industrial, pero a un mayor ritmo después de la segunda Guerra Mundial.

Los principales GEI antrópicos⁹ son:

- Dióxido de carbono (CO₂),
- Metano (CH₄),
- Óxido nitroso (N₂O),
- Hidrofluorocarbonos (HFC),
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Los GEI tienen diferentes impactos sobre la naturaleza cuantificados por su potencial de calentamiento global con un factor de conversión a toneladas CO₂ equivalente¹⁰. En la Tabla 1 se muestran los factores de conversión para los distintos gases.

Tabla 1. Poder de Calentamiento de los GEI.

GEI	Equivalencia en CO2
Dióxido de Carbono CO2	1
Metano CH4	21
Óxido Nitroso N2O	310
Hidrofluorocarbonos HFC	740
Perfluorocarbonos PFC	1.300
Hexafluoruro de azufre SF6	23.900

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del IPCC 2006

El aumento de la concentración de estos Gases que se inició con la Revolución industrial y la tala de árboles, ha provocado el aumento progresivo de la temperatura media mundial de la tierra. A modo de referencia, la Figura 1 muestra la relación que tiene el aumento de la concentración de CO₂ con la temperatura.

⁸ GEI por su estructura molecular estable tienen la capacidad de emitir energía, y vibran al recibir la radiación IR con lo cual reducen la pérdida de calor que emana de la tierra al espacio, se acrecienta el efecto invernadero natural, lo que produce la elevación de la temperatura de la tierra.

⁹ Provocadas por el hombre

¹⁰ A modo de ejemplo 1 ton de CH₄ equivale a 21 ton de CO₂e.

1800 - 2005

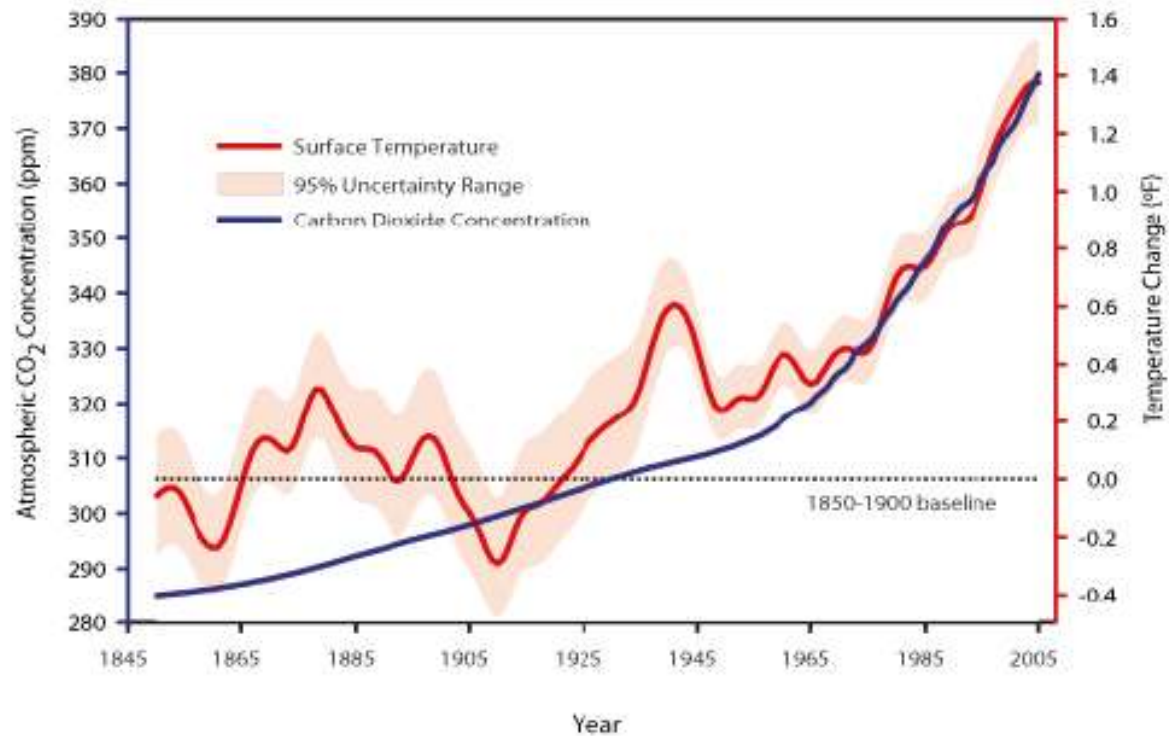


Figura 1. Temperatura de la tierra y concentración de CO₂ en la atmósfera.

Fuente: Center of Latinoamerican Logistics Innovation

Gran parte de este aumento de GEI es producto del desarrollo de los países industrializados contribuyendo con un 55% aproximadamente, siendo las principales fuentes contaminantes las mostradas en la Figura 2.



Figura 2. Principales fuentes contaminantes

Fuente: Defusing the Global Warming TIME BOMB James Hansen; Science America March 2004

5.2 El Cambio Climático

El aumento progresivo de la temperatura terrestre se ha visto reflejado en la variación global del clima de la Tierra, lo que se denomina “El Cambio Climático”.

En la actualidad existe un consenso científico en torno a la idea de que el modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global, que provocará, a su vez, serios impactos tanto sobre la tierra como sobre los sistemas socioeconómicos¹¹. Las consecuencias del calentamiento global corresponden a: tormentas y huracanes más intensos, el derretimiento glaciares y deshielos tempranos con aumentos del nivel del mar, pérdida de ecosistemas y reservorios de agua dulce, zonas con aumento de lluvias y sequías con fuegos arrasadores, olas de calor mortales con propagación de enfermedades, migración de especies a otros ecosistemas y extinción, y finalmente enfermedades por falta de agua.

El cambio climático es uno de los mayores desafíos a nivel mundial, ya que al tener un sistema meteorológicamente cambiante es una amenaza para la humanidad, por lo que a nivel mundial se han tenido que tomar medidas para mitigar este efecto¹².

5.3 Contexto histórico

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un Primer Informe de Evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara medidas para evitarlo. En 2014, el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación afirma que “las emisiones antropógenas de GEI han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico. Los GEI son la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX”.

Así en 1992, la Cumbre para la Tierra dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC o por sus siglas en inglés UNFCCC)¹³ como primer paso para afrontar el problema del cambio climático, que tiene como objetivo principal estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de

¹¹ Gobierno de España, www.mapama.gob.es

¹² Naciones Unidas, <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

¹³ Entra en vigor el 21 de marzo de 1994 ratificada por Chile ese mismo año.

manera sostenible. Para lograr dicho objetivo, todos los países miembros de la CMNUCC deben elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar inventarios nacionales de sus emisiones y capturas de GEI (INGEI) a dicha Convención (Párrafo 1(a); Artículo 4). Actualmente 197 países han ratificado la Convención, convirtiéndose en Partes de la misma.

En 1995, bajo el sistema de las Conferencias de las Partes (COP), los países iniciaron negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático y en la COP 3 de 1997 adoptaron el Protocolo de Kyoto que corresponde a un acuerdo jurídico internacional suscrito el 10 de diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto, Japón. Este obliga jurídicamente a 37 países industrializados y la Unión Europea (pertenecientes al Anexo I¹⁴) a reducir sus emisiones de GEI en un porcentaje aproximado del al menos 5,2% a nivel global dentro del periodo entre el 2008 y el 2012 tomando como base el año 1990. El segundo período de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminará en 2020 donde los países Anexo I se comprometieron a nuevas metas de reducción¹⁵. Se crearon herramientas económicas para disminuir los costos asociados a la reducción de emisiones tales como: Implementación Conjunta (Art. 6), Comercialización de los derechos de emisión (Art. 17) y Mecanismo de Desarrollo Limpio (Art. 12).

Las COP's, son el órgano supremo de la Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), es decir, su máxima autoridad con capacidad de decisión. Es una asociación de todos los países miembros (o Partes) que se reúnen todos los años durante dos semanas para abordar el problema global del cambio climático.

El 2009 se realizó la Cumbre Internacional de Copenhague (COP 15) donde se acordó el objetivo de limitar el incremento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales (1750). En la capital francesa, un conjunto de países formaron una coalición de alta ambición para apoyar el objetivo de limitar el calentamiento a 1,5 °C. Este objetivo ya estaba presente en la COP 16 de Cancún, en 2010¹⁶.

Finalmente el gran reto de la Conferencia de las Partes - COP21 - de París fue renovar el compromiso iniciado en Kyoto y aprobar un acuerdo vinculante que reduzca las emisiones y evite que la temperatura suba más de dos grados durante el siglo XXI. Cabe señalar que ahora se ha incorporado a todas las naciones de la tierra, ya que las economías emergentes, sin exigencias en el Protocolo de Kyoto, habían aumentado considerablemente sus emisiones y anulado todos los esfuerzos de reducción de GEI de las economías desarrolladas.

Chile fue el segundo país latinoamericano, después de México, que ingresa la

¹⁴ Países con obligación de reducción – Comunidad europea – EEUU- Países con compromisos de reducción como Australia, Noruega, Suiza, entre otros.

¹⁵ La unión europea se comprometió a reducir un 20% al 2020 tomando como base 1990

¹⁶ IPCC AR5 Working Group III. Op. cit. p. 125.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en enero del 2010. Con esto la OCDE puede aportar su experiencia en materia de implementación de políticas públicas, así como recibir las prácticas y estándares en estas áreas de los demás países miembros que generan un gran crecimiento para el país. Finalmente la incorporación a esta organización permite recibir toda la información, los modelos institucionales, los estándares que permitan obtener las mejores políticas públicas y alcanzar cumplimiento de los objetivos de desarrollo y crecimiento del país¹⁷.

5.3.1 Acuerdo París – COP 21

El 12 de diciembre de 2015, 195 naciones firmaron en París un acuerdo para combatir el cambio climático en el marco de la conferencia de la Organización de Naciones Unidas (ONU) sobre el clima (COP 21). La cumbre contó con la asistencia de 150 jefes de Estado, lo que muestra que el cambio climático se encuentra en la agenda política internacional. Hasta el 31 de Marzo de 2018 un total de 169 países han presentado propuestas nacionales de contribuciones climáticas, lo que representa más del 95% de las emisiones¹⁸.

El Acuerdo de París de la COP 21, adoptado en diciembre de 2015 y vigente desde noviembre de 2016, tiene como objetivo principal evitar que el incremento de la temperatura media global supere los 2 °C con respecto a niveles preindustriales y promover los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 °C.

Dentro de los principales resultados¹⁹ se tiene:

- Reconoce la necesidad de que las emisiones globales se detengan lo antes posible, asumiendo que esta tarea llevará más tiempo para los países en desarrollo. Además, incluye la importancia de conseguir una senda de reducción de emisiones a medio y largo plazo, coherente con un escenario de neutralidad de carbono en la segunda mitad de siglo, es decir, un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero.
- Compromete a todos los países que cada cinco años comuniquen y mantengan sus objetivos de reducción de emisiones, así como la puesta en marcha de políticas y medidas nacionales para alcanzarlos.
- Incluye un ciclo de revisión o sistema de ambición que establece que, cada cinco años (empezando en 2023), es necesario hacer un balance del estado de la implementación del Acuerdo respecto al objetivo principal de los 2°C.
- Pone en valor la importancia de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, estableciendo un objetivo global de aumento de la capacidad de adaptación y reducción de la vulnerabilidad, en un contexto en el que todos los países se están enfrentando a los impactos derivados del cambio climático. La adaptación debe definirse a nivel de país, de forma transparente

¹⁷ Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile

¹⁸ <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/Pages/All.aspx>

¹⁹ Los puntos fueron tomados en el mismo orden que se presenta en: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/resultados-cop-21-paris/default.aspx>

y valorando cuestiones transversales. Los países han de participar en los procesos de planificación, así como presentar y actualizar periódicamente comunicaciones sobre adaptación.

- Sienta las bases para una transformación hacia modelos de desarrollo bajos en emisiones. Para ello, se cuenta con un importante paquete financiero que ayudará a la implementación del Acuerdo y que deberá construirse sobre la base del objetivo, para los países desarrollados, de movilización de 100.000 millones de dólares anuales, a partir de 2020, a través de distintas fuentes²⁰.
- Incita a los países en desarrollo a que proporcionen financiamiento de manera voluntaria, manteniendo el liderazgo de los países desarrollados para movilizar recursos financieros.
- Reconoce la importancia de fortalecer las capacidades de los países en desarrollo de donde nace el Comité para el fortalecimiento de capacidades (Comité de París), con el fin de detectar necesidades en países en desarrollo.
- Refuerza el sistema actual de transparencia y rendición de cuentas de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para fortalecer la confianza entre los países, sobre la base de un sistema de información claro y común, en particular sobre cifras de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero.
- Crea un Comité, destinado a facilitar la aplicación del Acuerdo y promover su cumplimiento, por todas las Partes.
- El Acuerdo de París entra en vigor el 4 de noviembre del 2016 tras la ratificación de 55 países que representan el 55% de las emisiones globales totales.

Para lograr las metas del Acuerdo de París se necesita una acción mundial concertada a una escala y rapidez sin precedentes. En este sentido, los países comprometidos con mitigar el impacto climático adoptan metas, dentro de las cuales se mencionan las de Chile:

- a) Al 2030, reducir en un 30% la intensidad de las emisiones de GEI — expresadas en CO₂ equivalente— por unidad de PIB, con respecto al nivel alcanzado en 2007, considerando un crecimiento económico futuro que permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso.
- b) Adicionalmente y condicionado a la obtención de aportes monetarios internacionales (grant²¹), el país se compromete al 2030 aumentar la reducción de emisiones GEI por unidad de PIB hasta alcanzar una disminución de entre 35% a 45% con respecto al nivel alcanzado en 2007, considerando un crecimiento económico futuro que permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso.
- c) Manejo sustentable y Recuperación de 100 mil hectáreas de bosque, principalmente nativo, que representará capturas y reducción de GEI en

²⁰ Este objetivo se revisará al alza antes de 2025

²¹ Aportes o donaciones monetarias internacionales

alrededor de 600 mil toneladas de CO₂ equivalente anuales²² a partir del 2030.

- d) Forestar 100 mil hectáreas, en su mayoría con especies nativas, que representarán capturas de entre 900 mil y 1,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente anuales²³ a partir del 2030, compromiso condicionado a la prórroga del Decreto Ley 701 y a la aprobación de una nueva Ley de Fomento Forestal.

Finalmente, los países se comprometen a actualizar sus planes climáticos (Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional - INDCs) cada cinco años, en los que irán aumentando la ambición a largo plazo. A los países desarrollados se les exige que reduzcan sus emisiones comprometidas en sus planes, mientras que a los menos desarrollados como Chile, se les solicita que las limiten o las reduzcan en función de sus capacidades. Si bien los primeros borradores especificaban fechas y porcentajes, el acuerdo final se queda en alcanzar su punto máximo lo antes posible teniendo presente que los países en desarrollo tardarán más en lograrlo. Se busca alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo, sobre la base de la equidad y en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza.

6. ESTADO DEL ARTE

6.1 Contexto mundial de GEI

El año 2016 fue el más caluroso del que se tenga registro, y en noviembre de 2016, Naciones Unidas anunció que la temperatura mundial ha aumentado en 1,2 °C desde el periodo preindustrial²⁴.

²² Este compromiso fue condicionado a la aprobación de modificaciones de la Ley sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal

²³ Este compromiso fue condicionado a la prórroga del Decreto Ley 701 y a la aprobación de una nueva Ley de Fomento Forestal

²⁴ <http://www.bancomundial.org/es/topic/climatechange/overview>

6.1.1 Antecedentes mundiales de GEI

La preocupación mundial por estabilizar la concentración atmosférica de los Gases de Efecto Invernadero, sumada al crecimiento acelerado de estas emisiones en los países emergentes en desarrollo (principalmente China e India), ha llevado a las naciones que forman parte de la CMNUCC a definir un nuevo acuerdo de reducción de emisiones, en el que tanto países desarrollados como en desarrollo tendrán obligaciones vinculantes²⁵.

A modo de referencia se muestra la Figura 3 que representa los niveles de CO₂ históricos del mundo y la Figura 4 las emisiones mundiales al año 2010 por sector económico.

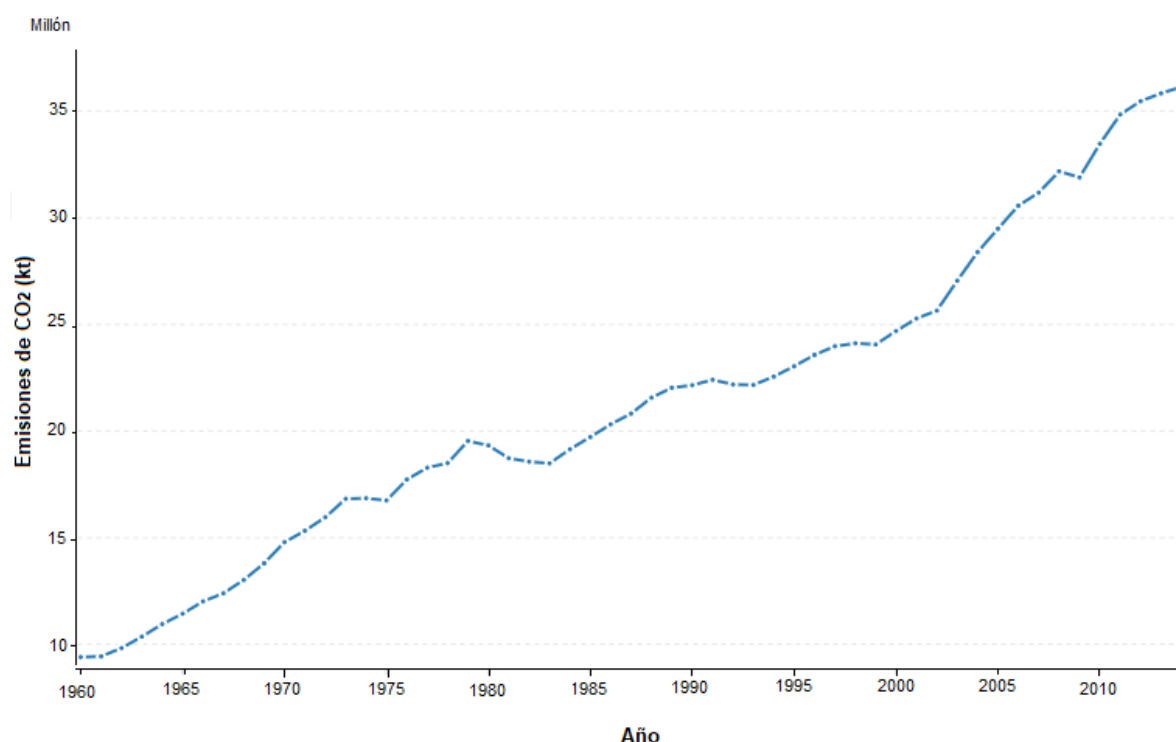


Figura 3. Emisiones de CO₂ a nivel mundial expresadas en kilo toneladas

Fuente: Banco mundial

De la figura se observa un alza constante de emisiones, llegando a 36.138.285 kt de CO₂e en el año 2014.

La urgencia con la que los países están actuando para cumplir con sus compromisos de mitigación reside en el hecho de que las emisiones de GEI se han incrementado progresivamente desde la era preindustrial²⁶.

²⁵ COP 21

²⁶ Panel Intergubernamental de Cambio Climático

En la Figura 4 se muestra el total de emisiones de GEI al 2010, además de la distribución de estas emisiones según sector.

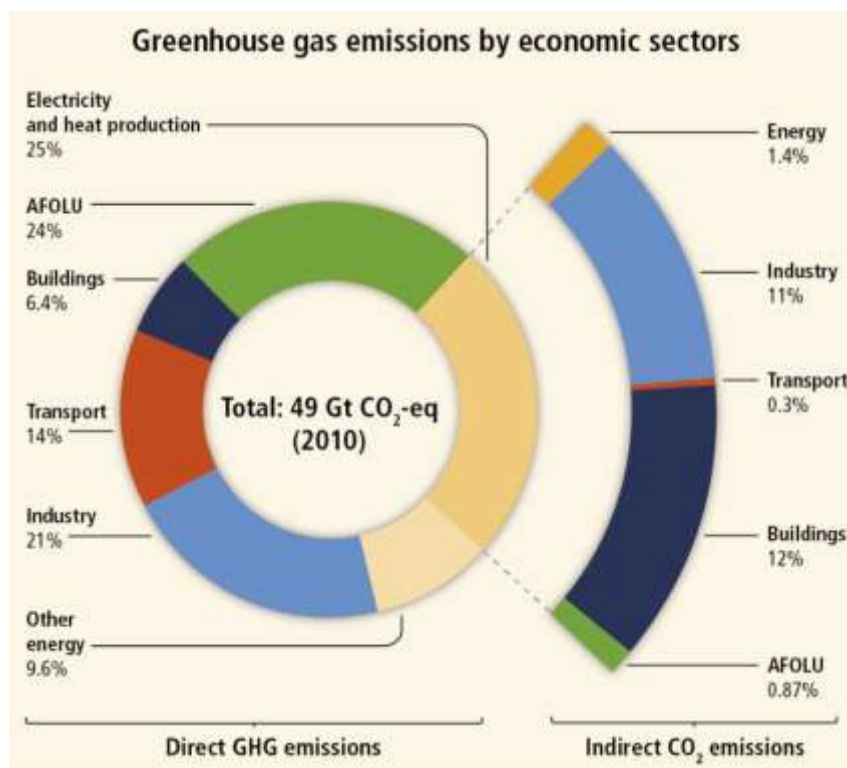


Figura 4. Emisiones de GEI a nivel mundial por sectores económicos
Fuente: IPCC-AR5, 2015

De la figura se observa que el sector de energía es el que más aporta en las emisiones globales con un 34,6% aproximadamente. En la Figura 5 se muestran las emisiones mundiales de CO₂e del sector energía expresadas en Gt CO₂e.

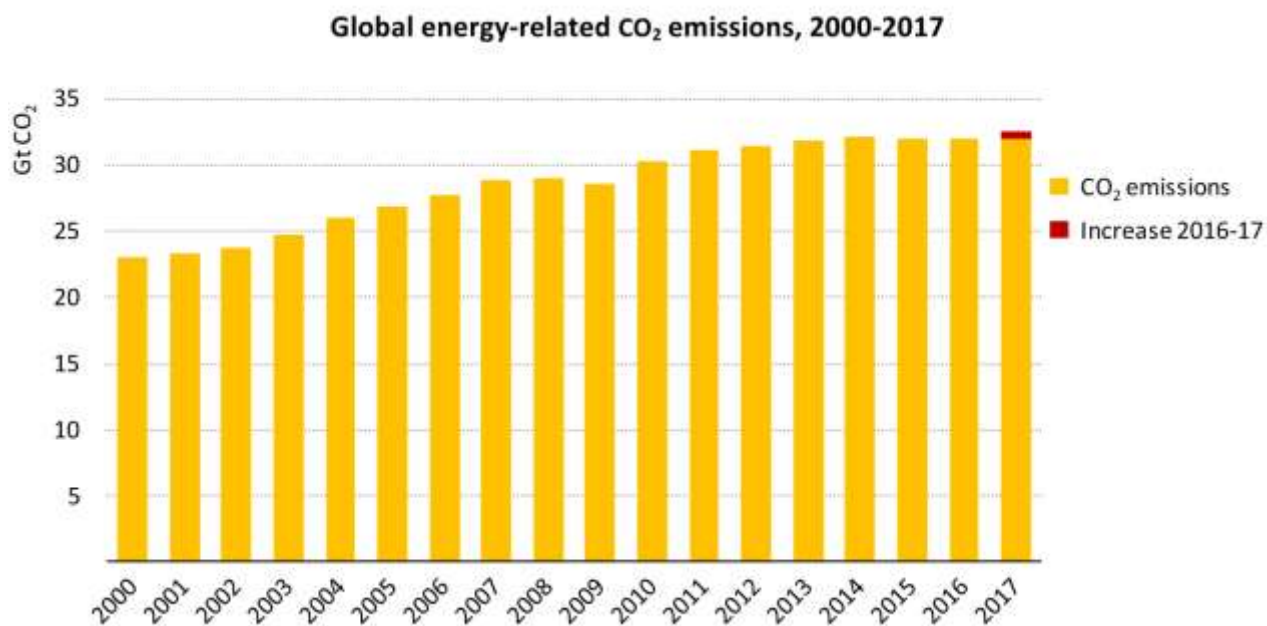


Figura 5. Emisiones de CO₂ a nivel mundial relacionadas con el sector energía expresadas en Giga toneladas

Fuente: Global Energy & CO₂ Status Report 2017, International Energy Agency

De la Figura 5 se observa que para el año 2017 las emisiones mundiales del Sector energía aumentaron en un 1,4% correspondiente a 460 millones de toneladas, alcanzando un máximo histórico de 32,5 Gton. Este crecimiento se produjo después de tres años de emisiones constantes lo que se explica con la reducción necesaria para cumplir los objetivos del Acuerdo de París sobre el cambio climático. El aumento en las emisiones de carbono se puede atribuir al aumento de automóviles, menores precios de combustibles fósiles y esfuerzos de eficiencia energética más débiles.

Bajo el contexto de las contribuciones por país se presenta a continuación el porcentaje (%) del total mundial de los países con mayor incidencia respecto a las emisiones de CO₂ en el mundo.

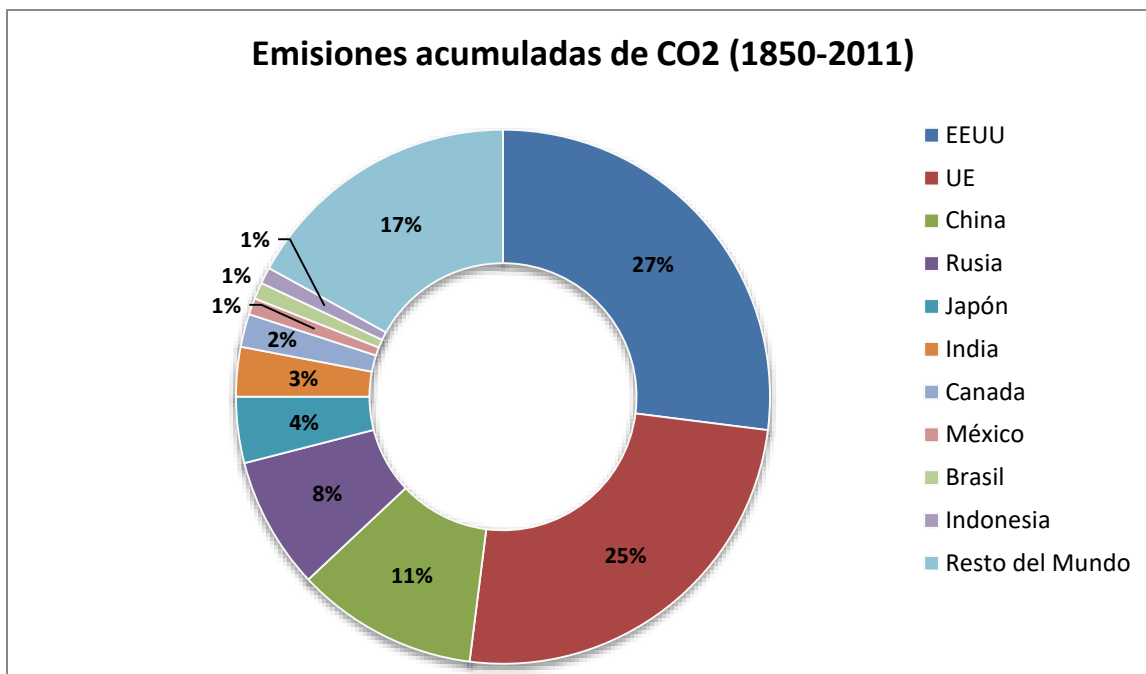


Figura 6. Contribución por país de Emisiones de CO₂ serie 1850-2011
Fuente: Elaboración propia en base a www.wri.org

6.2 Contexto normativo mundial

Dentro del contexto normativo y mecanismos de reducción de emisiones de GEI internacionales se tienen los que se describen a continuación:

6.2.1 Impuestos al Carbono

Corresponde a un impuesto que busca corregir una externalidad negativa²⁷ y tiene como objetivo incorporar costos ambientales a los usuarios de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) de manera de reducir las emisiones de CO₂e y por ende disminuir el impacto del cambio climático. Además, este impuesto busca inducir a la utilización de combustibles más limpios y por ende energía más limpia con fuentes renovables.

Este impuesto ha sido aplicado en varios países siendo los más altos y bajos los nombrados a continuación²⁸:

- + Suecia [130 USD/ton]
- + Finlandia [64 USD/ton y 48 USD/ton]
- + Suiza [62 USD/ton]

²⁷ Teoría del Impuesto Pigoviano

²⁸ Banco Mundial, 2015

- Estonia [2 USD/ton]
- Japón [2 USD/ton]
- México [3 USD/ton y menor a 1 USD/ton]
- Polonia [menor a 1 USD/ton]

En la Tabla 2 se muestra la experiencia internacional respecto a este tipo de impuesto.

Tabla 2. Características de Impuestos al carbono en otros países

País	Detalle
UNIÓN EUROPEA	Establece el European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) en el año 2005 donde participan 27 países y 3 no integrantes. Este programa regula las emisiones del 45% de las emisiones de CO ₂ e en Europa con cerca de 11.500 fuentes. Su objetivo actual es reducir en un 21% las emisiones de 2005 para el año 2025.
CANADÁ	Establece esquemas de impuesto al carbono en las provincias.
FINLANDIA	Pionero en introducir un impuesto al carbono (1990). Inicialmente se aplica impuesto al petróleo, Gas Natural, carbón y turba incrementándose hasta llegar a valores de 64 U\$/ton.
SUECIA	Introduce el impuesto a los combustibles para calefacción y transporte en 1991, llegando a valores de 132 US\$/ton CO ₂ en 2016. La industria de la energía no se le aplica este impuesto ya que se rige bajo el esquema ETS de EU.
JAPÓN	Introduce el impuesto a los combustibles fósiles (2012) con el fin de financiar acciones de eficiencia energética y desarrollar tecnologías con menores emisiones. El impuesto es de 2,54 US\$/ton CO ₂ y es adicional al impuesto a los combustibles petróleo y carbón.
AUSTRALIA	Entro en vigencia el mecanismo de precio de carbono (2012) el cual tenía dos etapas: i) período inicial con impuesto al carbono en un valor fijo (23.4 US\$/ton CO ₂) por tres años, y ii) un sistema de transacciones de emisiones. En 2013 solicita revocar el impuesto con el fin de reducir las tarifas de electricidad e impulsar el crecimiento económico del país.
NORUEGA	Introducido en 1991 y aplica al petróleo de calefacción, gas natural, gasolina y GLP. Varía entre 4 y 54 US\$/ton CO ₂ e, según los combustibles.

Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank Group, "State and Trends of Carbon Pricing", Octubre 2016

6.2.2 Ley de ERNC

Son diversos los mecanismos utilizados para el fomento de las ERNC en la experiencia internacional y en Chile, dentro de los que se tiene:

- Programas de liberación de pagos por transmisión eléctrica
- Disminución de impuestos
- Fondos de apoyo a la inversión
- Garantías y exención de impuestos arancelarios
- Impuestos verdes: impuestos a fuentes contaminantes fijas

En la tabla siguiente se muestran algunos programas de incentivos internacionales.

Tabla 3. Programas de incentivos de ERNC en otros países

País	Detalle
ARGENTINA	Ley de incentivos de ERNC 1998 - 2006: - Establece primas adicionales al mercado y beneficios fiscales. - Objetivo de 8% del consumo eléctrico nacional en 2016 cubierto por Energías renovables. Primas para eólica y minihidráulica (adicionales a precio de mercado) En 2010 el gobierno convoca a licitaciones públicas (programa GENREN) a través de ENARSA adjudicando 895 MW renovables siendo 754 MW eólicos.
BRASIL	Primer Programa PROINFA I y II; PPA por 20 a 30 años con Electrobras adjudicados a través de subastas por tecnologías. Plan Decenal 2010-2019 prevé la instalación de 14 GW de renovable para alcanzar 22 GW al 2019.
PERÚ	Ley de incentivos de ERNC de 2008 Objetivo 5% del consumo nacional con tecnologías renovables en 5 años. Subastas diferenciadas por tecnología
COLOMBIA	Legislación incipiente con escasos incentivos que no permiten viabilizar proyectos de ER. Primeros objetivos no vinculantes a 2020 (3,5% a 2015 - 6,5% a 2020)
PANAMÁ	Posee tres leyes de fomento a las ER y limpias, fomento a la energía eólica y fomento a los biocombustibles
COSTA RICA	Incentivos a las ER por medio de licitaciones públicas la ER será comprada hasta por 20 años de cualquier planta entre 20MW y 50MW, teniendo como objetivo que el 15% de la electricidad provenga de tales fuentes.
NICARAGUA-SALVADOR-GUATEMALA	Incentivos fiscales de fomento a las inversiones en generación a partir de renovables como exoneración de impuestos arancelarios, impuestos a la renta, entre otros.
EE.UU	Pionero con políticas públicas para fomento de ERNC. Decreta en 1978 la ley nacional de tarifas de entrada (PURPA, por sus siglas en inglés). Existen más de 200 programas de incentivos de ERNC que varían de un estado a otro. Existen incentivos fiscales a la producción (PTC), y a la inversión (ITC).
Unión Europea	Pionera en el desarrollo y aplicación de técnicas modernas relativas a las ERNC. Alguno de los instrumentos jurídicos son: Directiva 2001/77/CE relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad, directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte, directiva 2004/8/CE, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la Energía, directiva 2003/96/CE por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de "Análisis crítico de la regulación y políticas de fomento relativas a las ERNC – U de Chile" y cátedra de fomento de ERNC profesor Wilfredo Jara.

6.2.3 Cap and Trade

Mecanismo de mercado para incentivar una determinada reducción de emisiones de GEI al mínimo costo. El funcionamiento de este esquema se basa en dos conceptos claves:

- (a) La fijación de un tope de emisiones
- (b) La transferencia con un valor económico de derechos de emisión entre agentes.

El sistema de “Cap and Trade” fija un límite de contaminación determinado, creando los mecanismos para alcanzarlo y generando incentivos para los que cumplan con sus límites de emisión, otorgando la posibilidad de realizarlo a través del comercio de emisiones, especialmente los que son más eficientes en los costos asociados al cumplimiento de la norma, quedando autorizados para comercializar el exceso de emisiones resultante con aquellas fuentes que emitan el gas regulado, por sobre el límite asignado.

El esquema de comercio de emisiones europeo (EU ETS) se basa en este tipo de mecanismo y es aplicable sólo entre los 27 países miembros de la Unión Europea.

6.2.4 Otros

Reducir los subsidios a los combustibles fósiles²⁹ de manera de contribuir a la reducción de emisiones globales anuales de GEI, estimando un valor de entre 6% y 13% para el año 2050³⁰.

Créditos por reducción de emisiones que consiste en la comercialización de toneladas de CO₂e que permite a los países más desarrollados alcanzar sus metas comprando las toneladas a otros países que tengan disponibilidad.

6.3 Contexto de mitigación de GEI mundial

6.3.1 Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC)

Las NDC son compromisos nacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), acorde con la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Acuerdo de París, para lograr que la temperatura terrestre no aumente más de 2 °C. Bajo este contexto, cada país ha presentado sus compromisos de reducción de GEI en función de sus responsabilidades históricas y sus propias capacidades. La Tabla 4 hace referencia a las contribuciones presentadas por algunos países.

²⁹ Estos subsidios sólo se aplican en Africa y Asia, no aplican para Chile.

³⁰ <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/china-y-eu-analizaran-subsidios-a-combustibles-fosiles>

Tabla 4. NDC presentados por otros países

País	Detalle
SUIZA	Disminuir en un 50% sus emisiones por debajo de los niveles de 1990 para 2030, de los cuales el 30% será propio en el territorio y el resto con proyectos exteriores de disminución de emisiones.
UNIÓN EUROPEA	Reducir en un 40% sus emisiones con respecto a los niveles alcanzados en 1990 y al menos en un 60% para el 2050 respecto a los niveles de 2010.
NORUEGA	Reducir en un 40% sus emisiones al 2030, comparado con los niveles alcanzados en 1990, con un programa de proyectos que se llevará a cabo entre 2021 y 2030.
MÉXICO	Reducir en un 25% sus emisiones de GEI al 2030 por debajo de los niveles alcanzados en el 2000, pudiendo elevarse a 40% en caso de recibir apoyo internacional. Su contribución incluye planes para la adaptación al cambio climático, así como un objetivo de reducción de carbono negro u ollín.
ESTADOS UNIDOS	Reducir entre un 26% y 28% sus emisiones hacia el 2025 frente al nivel alcanzado el 2005.
URUGUAY	Reducir en un 50% sus emisiones de GEI hacia el 2025 en relación a 1990. Además incluye una reducción de un 30% de la intensidad de emisiones en la producción de alimentos.
RUSIA	Reducir entre un 20% y 25% sus emisiones de GEI hacia el 2030, con relación a niveles alcanzados en 1990, sujetas a la capacidad máxima de absorción de los bosques. Además de reducir las emisiones provenientes de los sectores energético, industrial, agricultura, uso de tierra y residuos.
PERÚ	Reducir sus emisiones de GEI un 30% al 2030 con un 10% condicionado a apoyo financiero adicional
CANADÁ	Reducir en un 30% sus emisiones de GEI para el 2030 respecto de los niveles del 2005.
ANDORRA	Reducir en un 37% sus emisiones de GEI para el año 2030 bajo un escenario bussiness-as-usual, referido a lo esperable basado en patrones actuales.
CHINA	Reducir la intensidad de carbono del PIB en un 60%-65% por debajo de los niveles de 2005 para el año 2030, aumentar las energías Renovables en la demanda de energía primaria en un 20% para el 2030.
JAPÓN	Reducir sus emisiones en un 26% por debajo de los niveles de emisiones de 2013 para el año 2020
BRASIL	Reducir sus emisiones en un 36,1% a un 38,9% en 2020 en comparación con un escenario de tendencias de emisiones.

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www.iagua.es/blogs/cop20/compromisos-reduccion-emision-gases-efecto-invernadero-pais-pais> y <http://climateactiontracker.org/>

6.3.2 Mecanismos internacionales para cumplir con las NDCs

Cada país tiene distintas estrategias de desarrollo para abordar los compromisos adquiridos en las NDCs detallados a continuación:

- **ECUADOR**

El Ministerio de Medio Ambiente es el encargado de coordinar la planificación del cambio climático incorporando una visión de desarrollo sostenible que no afecte los niveles económicos del país.

Además, cuenta con incentivos fiscales en adquisición de equipos con criterios más verdes, es decir, más eficientes y que permitan disminuir las emisiones de GEI. Tiene una Normativa progresista en términos de emisiones sin excluir las exigencias de mercado.

- **MEXICO**

La Reforma energética del 2013 que contempla los sectores de petróleo, gas y electricidad tiene lineamientos de seguridad energética y reducción de emisiones. Para el sector eléctrico plantea como objetivos:

- Crear un mercado y competencia.
- Incentivar la participación del sector privado.
- Lograr una meta de generación limpia de un 50% para el 2050.
- Lograr una meta de eficiencia energética de 42% para el 2050 (sector vivienda, transporte y maquinaria).
- Lograr una meta de 50% vehículos eléctricos para el 2050.

Presenta grandes beneficios en cuanto a ahorro de subsidios, reducción del costo de la electricidad (hasta en un 75% en los hogares) y en el uso del agua.

México utiliza un fondo de garantías que busca reducir el riesgo de los prestamistas y así disminuir las tasas de los préstamos. Busca en un futuro impulsar tanto la generación distribuida como las redes inteligentes.

- **MARRUECOS**

Crea la Agencia Marroquí de Energía Sostenible (MASEN) con el fin de promover las energías renovables en el país con el objetivo de incorporar 2000 MW de proyectos de energía solar para el año 2020.

MASEN pasó a integrar proyectos no solo en la producción energética, sino en la industria competitiva de desarrollo local. Sus desafíos son:

- Reducir el costo del financiamiento
- Reducir los costos de transacción del proyecto

La agencia tiene un Modelo de Negocio en que es el único prestamista (plug and play). Se encarga de la infraestructura de apoyo (carreteras, redes, agua, etcétera)

y de proveer los terrenos, de manera que el desarrollador se ocupe únicamente de la parte energética (diseño, construcción y operación)

Levanta recursos concesionales de la banca pública multilateral (BM, KfW, CFT, AFD, AfDB) con el apoyo de una garantía gubernamental. Los proyectos se abren a concurso internacional y MASEN participa como propietario de un 25% del proyecto.

- **EL SALVADOR**

Existen iniciativas para apoyar una estrategia de financiamiento climático:

- Cartera de proyectos climáticos y ambientales (Plan El Salvador sustentable – Consejo de Nacional del Salvador)
- Preparación y propuesta de NAMAS (sector caña de azúcar, eficiencia energética, sector café y uso eficiente de leña)
- Mecanismos financieros para acción climática.

- **URUGUAY**

La generación distribuida comenzó como una política energética y tuvo un avance de alta penetración en el año 2014. Los partidos políticos estaban de acuerdo para generar una política en energía más eficiente con precios beneficiosos para el sistema. Esto provocó en 2014 el aumento de la electricidad de origen eólico eliminando así la importación de energía con capacidad de exportación.

El Plan de Eficiencia energética que consiste en crear un fondo de eficiencia energética desarrollado por las empresas eléctricas de Uruguay. La metodología contempla certificados de eficiencia energética lo que permite disponer de un fondo y posteriormente comprar los bonos.

- **CANADÁ**

Dentro de sus estrategias contempla el apoyo a países en desarrollo para la implementación de NDCs. En México está apoyando el desarrollo de un paquete de medidas en el sector gas y petróleo con una donación de 7 millones de dólares. En Chile, con la misma cantidad de fondos, está apoyando al sector de residuos, para proyectos de biogás. Finalmente, Canadá se ha comprometido a apoyar el desarrollo de estrategias de mitigación en estos dos sectores y en Internationally Transferred Mitigation Outcomes (ITMOs).

- **COSTA RICA**

Costa Rica busca ser carbono neutro al año 2021, con objetivos de intensidad per cápita bien definidos. En su matriz energética contempla un 99% de ERNC (Hidroeléctrica, geotérmica y eólica), sin embargo en el sector energía el 60% es petróleo y derivados por la gran contribución que presenta el transporte.

Es por esta razón que en este sector se está desarrollando un Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS). La transformación de la flota vehicular consiste en motores eléctricos y combustión interna eficiente incluyendo etanol (5-10%) en las gasolinas.

Finalmente, cumplir con el Acuerdo de París, a través de las NDCs contra el cambio climático requiere acciones sistémicas, integrales y coordinadas en conjunto entre los diferentes sectores, instituciones, carteras de estado y países.

6.4 Contexto GEI en Chile

Chile no es un emisor relevante de GEI en el contexto internacional. De acuerdo a las estadísticas de la Agencia Internacional de Energía, su aporte al total de emisiones³¹ es aproximadamente el 0,22% a nivel mundial para el año 2014, lo que equivale a 85.563 [kTon CO₂]. El promedio de emisiones de CO₂ por persona en Chile es de 4,7 tonCO₂/pp, muy cercano al promedio mundial que corresponde a 4,97 tonCO₂/pp³².

En la Figura 7 se muestra la tendencia del crecimiento de las emisiones de CO₂ por año en Chile desde 1960 a 2014.

³¹ Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

³² Estadísticas del banco mundial.

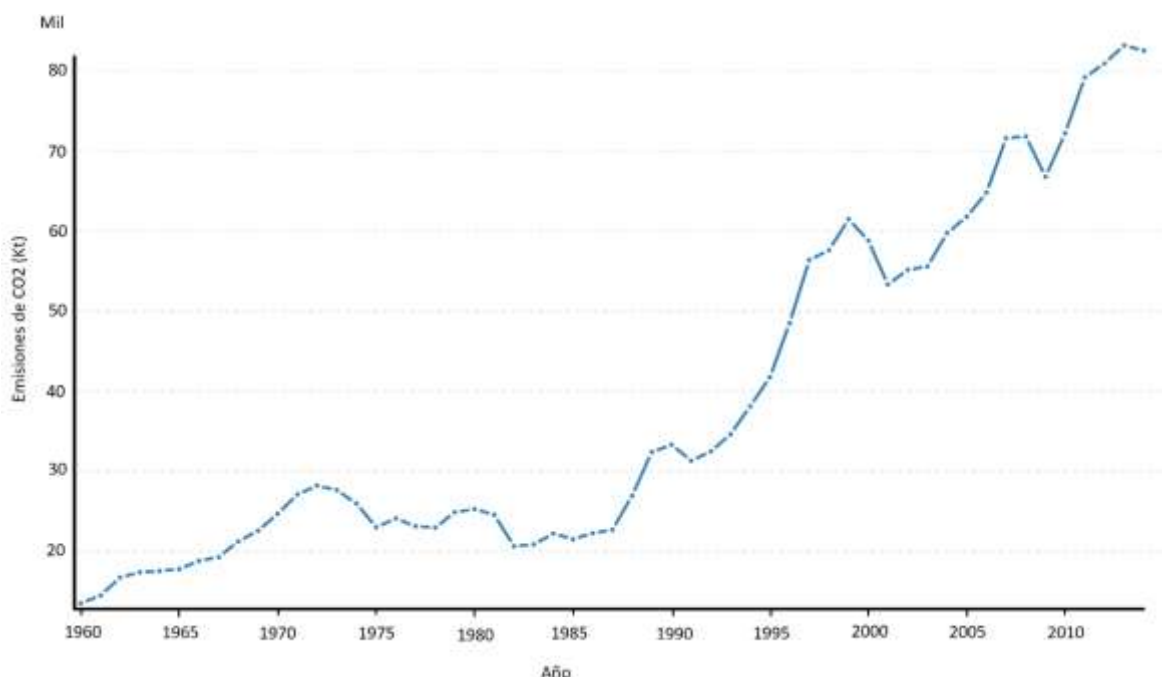


Figura 7. Emisiones de CO₂ en Chile expresadas en Kilo toneladas³³.
Fuente: Banco mundial

Chile al ser miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático³⁴ debe regirse bajo los acuerdos de éste. Pese a no tener obligaciones de reducción de emisiones, debe establecer comunicaciones periódicas con este organismo para informar sobre temas como el inventario nacional de GEI (INGEI)³⁵, las circunstancias nacionales, y temas transversales para ser compartidos con otros países en desarrollo.

Los INGEI consisten en un listado numérico exhaustivo de la contabilización de cada uno de los GEI antropógenos liberados o absorbidos desde la atmósfera en un área y en un período específico, generalmente correspondiente a un año calendario. Estos INGEI tienen por objetivo determinar la magnitud de las emisiones y absorciones de GEI nacionales que son atribuibles directamente a la actividad humana y la contribución específica del país al fenómeno del cambio climático³⁶.

El INGEI de Chile fue elaborado siguiendo las Directrices del IPCC de 2006, en donde los sectores económicos de un país se agrupan en cuatro sectores³⁷ que comparten características relativas a los procesos de generar emisiones o absorciones de GEI. Estos sectores son:

1. Energía

³³ Corresponde a las emisiones por año y contempla sólo las emisiones de CO₂

³⁴ Decreto 123 del 13 enero 1995

³⁵ Presentados cada 4 años como parte de las comunicaciones nacionales.

³⁶ SNI Chile: Sistema Nacional de inventarios de GEI

³⁷ Cada sector tiene subsectores los cuales tienen un código establecido por el IPCC, (ver anexo 1 de este informe)

2. Procesos industriales y uso de productos (IPPU).
3. Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU).
4. Residuos

Las emisiones de GEI totales del país en 2016 incluyendo sólo las fuentes de emisión de GEI del sector de la Agricultura³⁸, contabilizaron 111.676,7 kt CO₂e, incrementándose en un 114,7 % desde 1990 y en un 6,5 % desde 2013. En la Tabla 5, se muestran los valores antes mencionados.

Tabla 5. Emisiones de GEI (kt CO₂e) por sector excluyendo FOLU (serie 1990-2016)

Sector	1990	2000	2013	2014	2015	2016
1. Energía	33.679,7	52.508,7	80.524,6	78.220,2	84.974,1	87.135,2 ³⁹
2. IPPU	3.295,4	6.243,6	6.142,4	6.231,2	6.583,2	6.938,9
3. Agricultura ⁴⁰	12.071,4	14.008,7	12.848,4	12.419,1	12.210,6	11.801,6
4. Residuos	2.969,3	3.822,4	5.318,4	5.403,9	5.734,5	5.801,1
TOTAL	52.015,9	76.583,5	104.833,7	102.274,4	109.502,5	111.676,7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos preliminares para el INGEI 2018 - MMA

6.4.1 Contribución de GEI por sector

Respecto a las emisiones de GEI totales por sector para el año 2016 se tiene que el sector Energía representó un 78,02 %, seguido del sector Agricultura con un 10,6 %, el sector IPPU con un 6,2 % y finalmente del sector Residuos con un 5,2 %. (Figura 8).

³⁸ Excluye sector FOLU

³⁹ Incluye la Quema de combustibles fósiles y sus emisiones fugitivas asociadas.

⁴⁰ Excluye sector FOLU. La tendencia de las emisiones y absorciones del país por cada GEI varía según se incluyan o no las fuentes y los sumideros de la silvicultura y otros usos de la tierra (FOLU), ya que su inclusión genera un balance entre emisiones y absorciones de GEI, especialmente del CO₂

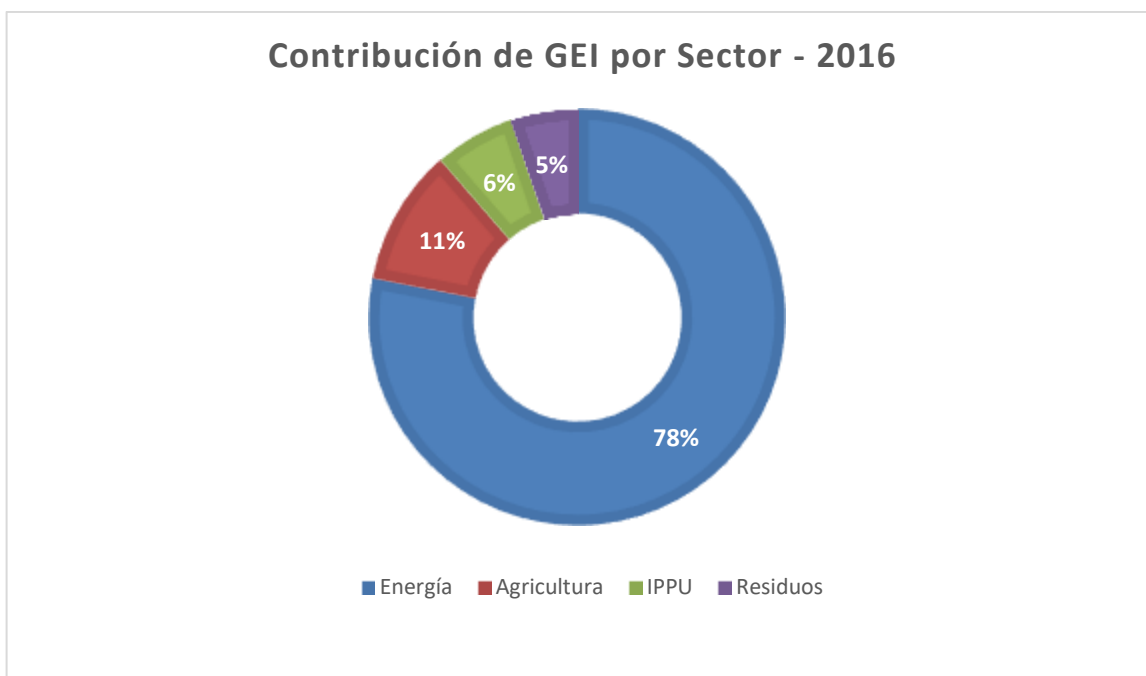


Figura 8. Contribución por sector de Emisiones totales de GEI – Año 2016.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos preliminares para el INGEI 2018 - MMA

Así de las emisiones totales de GEI, para el 2016 el principal GEI emitido fue el CO₂ con un 78,7 %, seguido del CH₄ con un 12,5%, N₂O con un 6%, y los Gases fluorados (HFC-SF₆-PFC) con un 2,8 %⁴¹.

Cabe señalar que el sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) es el único que absorbe GEI en el país, y se mantiene como sumidero durante toda la serie temporal. Las absorciones netas del sector para el 2016 fueron de 65.492,3 kt CO₂e debido principalmente al incremento de la biomasa en plantaciones forestales y en renovales de bosque nativo. Así, el Balance entre emisiones y absorciones de GEI de Chile para ese año (incluyendo FOLU) alcanzó los 46.184 kt CO₂e.

Finalmente, el sector Energía es el principal emisor de GEI (78,02%, equivalente a 87.135,2 kt CO₂e), incrementándose en un 8,2 % desde el 2013. En general, la principal causa es el aumento del consumo energético del país, incluyendo el consumo de carbón mineral y de gas natural para la generación eléctrica, así como el consumo de combustibles líquidos para el transporte terrestre (principalmente diésel y gasolina).

⁴¹ No incluye FOLU

6.4.2 Indicadores de intensidad

Para el país es importante gestionar la información del INGEI de Chile con el objetivo de comprender la evolución de las emisiones de GEI en un contexto amplio. Para ello, se ha definido el indicador de intensidad basado en las emisiones de GEI respecto del PIB.

En 2016, el indicador emisiones de GEI totales/PIB fue de 0,93 t CO₂ eq/MMCLP, disminuyendo en un 35,9 % desde 1990 y en un 9,8 % desde 2007; la tendencia se ve influenciada por las emisiones del sector *Energía* que domina las emisiones de GEI totales del país (Figura 9).

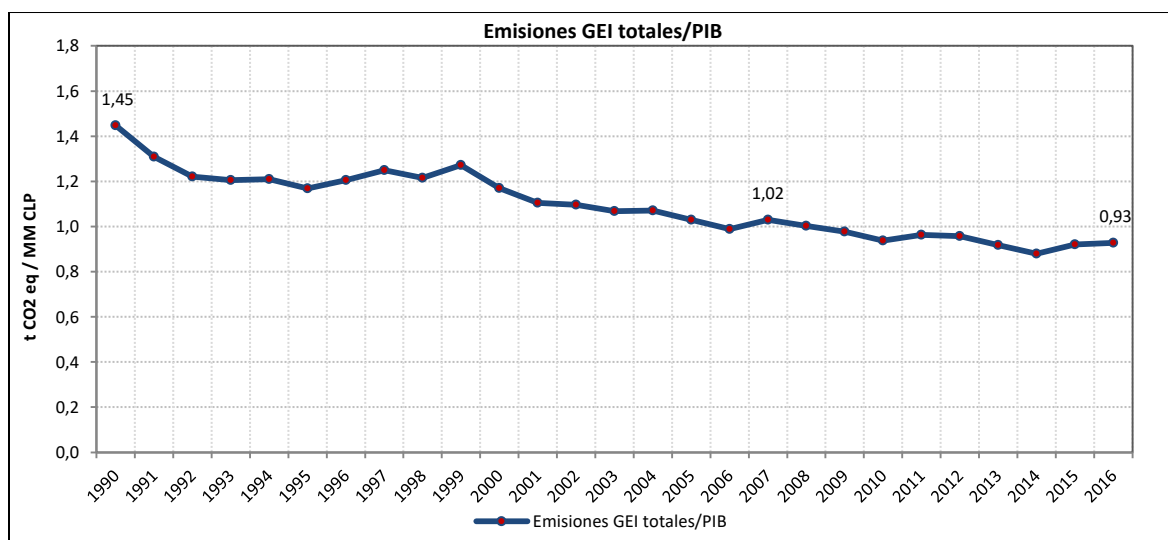


Figura 9. Emisiones de GEI totales por PIB (t CO₂ eq/MMCLP), serie 1990-2016

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA con base en información del Banco Central de Chile

6.4.3 Descripción Sector Energía

El sector energía en Chile se divide en 2 Categorías y 6 subcategorías⁴² las cuales corresponden a:

1.A Actividades de quema de combustible

1.A.1 Industria de la Energía

1.A.2 Industria manufactureras y de la construcción

1.A.3 Transporte

1.A.4 Otros sectores

1.B Emisiones fugitivas de combustibles

1.B.1 Combustibles sólidos

1.B.2 Petróleo y gas natural

En la Tabla 6 se muestran las emisiones por subcategorías, en la serie 1990 – 2013.

⁴² Definidas por el IPCC 2006

Tabla 6. Emisiones de GEI (kt CO₂e) por subcategorías del sector energía (serie 1990-2016)

Subcategoría	1990	2000	2013	2014	2015	2016
1.A.1	5.843,8	14.909,2	33.097,1	30.196,9	34.500,0	35.711,1
1.A.2	12.257,5	13.007,4	14.548,5	17.382,7	16.902,0	16.129,2
1.A.3	9.249,3	17.348,9	24.818,4	23.541,4	25.475,9	26.936,2
1.A.4	3.974,8	5.562,1	7.010,1	6.119,0	7.141,1	7.357,2
1.B.1	481,5	74,2	98,1	97,5	94,1	92,1
1.B.2	1.412,7	1.221,0	950,6	932,3	917,9	909,4
TOTAL	33.219,5	52.122,9	80.522,8	78.269,8	85.031	87.135,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos preliminares para el INGEI 2018 - MMA

De la Tabla 6 se observa que para el año 2016 la subcategoría de 1.A.1 Industria de la energía⁴³ representa el 40,9% de las emisiones de GEI respecto del total para el sector Energía y constituye la principal fuente de emisiones a nivel nacional correspondiente a un 31,9% del total de emisiones para el año 2016 excluyendo FOLU. La

Figura 10 representa la contribución por cada subcategorías.

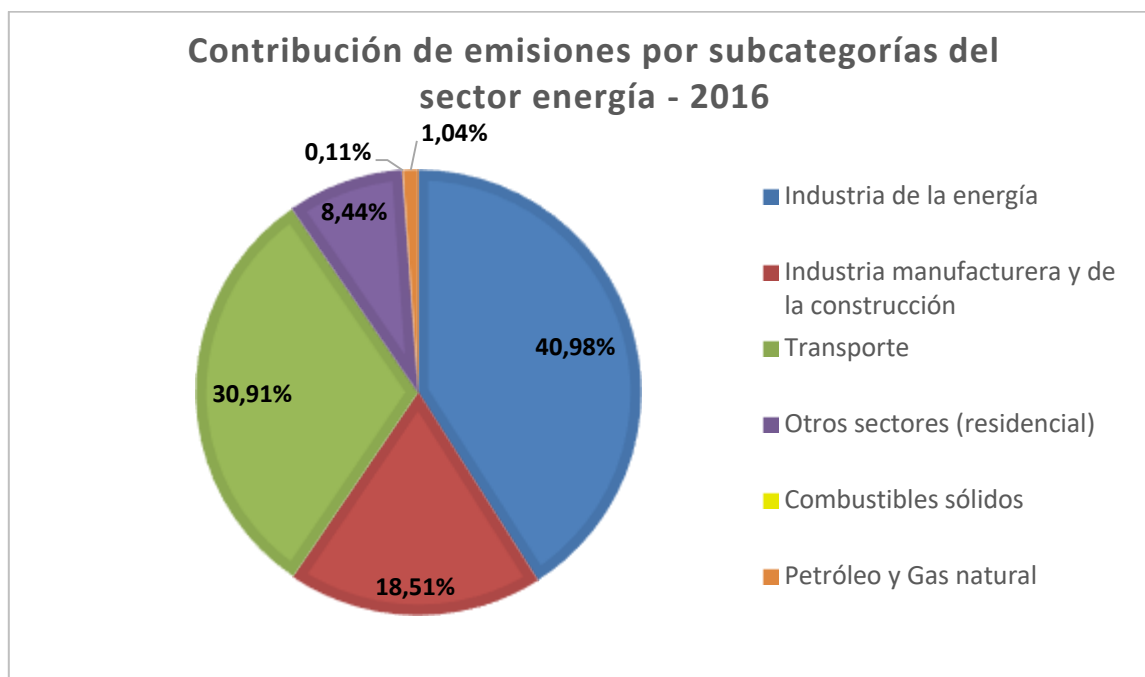


Figura 10. Contribución de Emisiones por subcategorías en el sector Energía – Año 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos preliminares del INGEI 2018 - MMA

• 1.A.1 Industria de la energía

En 2016, las emisiones de GEI correspondientes a la subcategoría Industria de la energía, contabilizaron 35.711,1 kt CO₂e, incrementándose en un 7,9% respecto del 2013.

⁴³ Incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles debido a las industrias de producción energética y a las actividades de extracción de combustibles.

Respecto de la contribución por componente de esta subcategoría (1.A.1) para el año 2013 se tiene lo siguiente:

1.A.1.a Producción de Electricidad: 98,6%

1.A.1.b Refinación del petróleo: 1%

1.A.1.c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía: 2,1%.

Cabe señalar, el aumento considerable de las emisiones de GEI provenientes de la producción de electricidad, representando el 31,5% de las emisiones totales de GEI. En la Figura 11 se muestra la generación eléctrica por tipo de fuente de emisión y emisiones de GEI expresadas en kt.

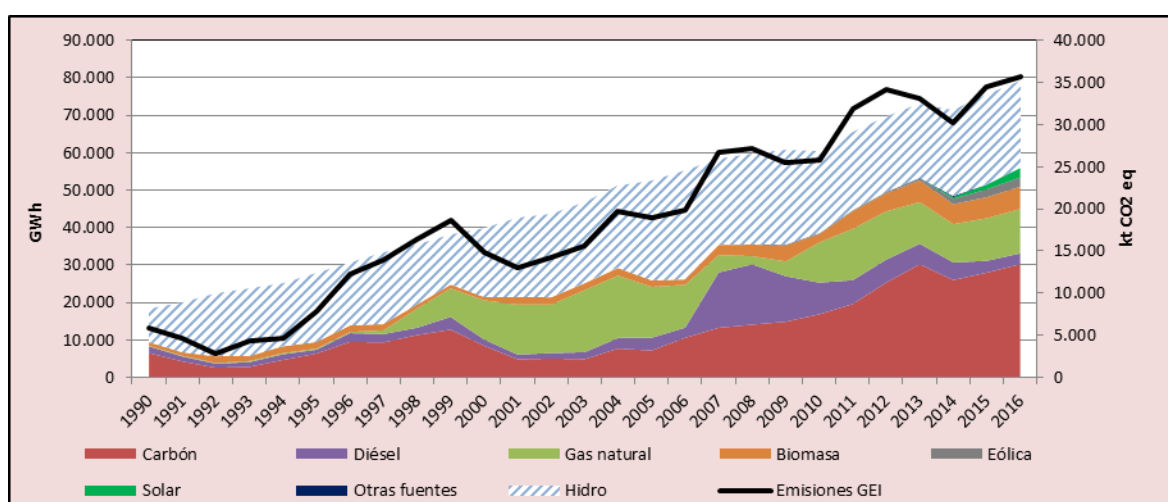


Figura 11. Producción de electricidad y calor como actividad principal: generación eléctrica por tipo de fuente y emisiones de GEI (kt CO₂e) - serie 1990-2016.

Fuente: datos preliminares para INGEI - MMA

De la Figura 11 se observa que los máximos de emisión se presentan cuando decrece la generación por fuente hidráulica y aumenta el consumo de diésel y especialmente carbón, como se observa en 1999, 2008 y 2012-2013. En el período 1999-2005 se observa cómo disminuyen las emisiones de GEI debido al aumento del consumo de gas natural, que desplaza el consumo de carbón y diésel. En el 2007 se aprecia cómo el corte del suministro de gas natural, acompañado de una menor oferta hídrica debido a las sequías, produce un aumento en el consumo de diésel y carbón, lo que incrementa a su vez las emisiones de GEI, con lo que se retoma la tendencia al alza observada entre 1990 y 1998.

- **1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción**

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en la industria, incluyendo la quema para generación de electricidad y calor para el uso propio de estas industrias.

En 2016, las emisiones de GEI contabilizaron 16.129,2 kt CO₂e, incrementándose en un 31,5 % desde 1990; sin embargo, los últimos tres años se ha mantenido, debido a que, en general, la actividad de la industria manufacturera en Chile no ha aumentado significativamente en los últimos veinte años. El crecimiento económico del país está más relacionado con actividades del comercio y los servicios.

Respecto de la contribución por componente de esta subcategoría **(1.A.2)** para el año 2016 se tiene lo siguiente⁴⁴:

- 1.A.2.a** Hierro y acero: 1,7%%
- 1.A.2.b** Sustancias Químicas: 2,1%
- 1.A.2.c** Pulpa, papel e imprenta: 9,6%.
- 1.A.2.e** Procesamiento de alimentos bebidas y tabaco: 2%
- 1.A.2.f** Minerales no metálicos: 6,1%
- 1.A.2.i** Minería y Cantería: 49,4%
- 1.A.2.m** Industria no especificada: 29,1%

Dentro de Minería y cantería, el cobre es la minería de mayor importancia con un 68,9 %, seguido de 23% de minas varias, 3,1% de salitre y 4,9 de hierro.

- **1.A.3 Transporte**

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en todas las actividades del transporte nacional (aéreo, terrestre, ferrocarriles, navegación, etc.), excluyendo el transporte militar y el transporte internacional (marítimo y aéreo), reportadas por separado.

En 2016, las emisiones de GEI contabilizaron 26.936,2 kt CO₂e, incrementándose en un 8,5% desde 2013, debido al crecimiento del parque automotor nacional inducido por la expansión de la población, el mayor poder adquisitivo y el mejoramiento de la infraestructura vial en el país.

Respecto de la contribución por componente de esta subcategoría **(1.A.3)** para el año 2013 se tiene lo siguiente⁴⁵:

- 1.A.3.a** Aviación civil: 6,2%
- 1.A.3.b** Transporte terrestre: 87,6%
- 1.A.3.c** Ferrocarriles: 0,6%.
- 1.A.3.d** Navegación marítima y fluvial: 2,8%
- 1.A.3.e** Otro tipo de transporte: 2,8%

A nivel de las emisiones por tipo de combustible del Transporte terrestre, el diésel

⁴⁴ Ministerio de Energía

⁴⁵ Ministerio de Energía

es el de mayor importancia con un 57,9%, seguido de 42,1 % de gasolina.

- **1.A.4 Otros sectores**

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en edificios comerciales e institucionales, en los hogares y en actividades relacionadas con la agricultura, la silvicultura, la pesca y la industria pesquera.

En 2016, las emisiones de GEI contabilizaron 7.357,0 kt CO₂e, incrementándose en un 4,9 % desde 2013.

Respecto de la contribución por componente de esta subcategoría (**1.A.4**) para el año 2013 se tiene lo siguiente⁴⁶:

1.A.4.a Comercial/institucional: 29,8%

1.A.4.b Residencial: 58,3%

1.A.4.c Agricultura/silvicultura/pesca/piscifactorías: 12,0%.

Dentro de la componente Residencial por tipo de combustible, el Gas licuado de petróleo es el de mayor importancia con un 54,3%, seguido de un 25,4% de Gas natural, 14,1 % de Biomasa (incluye sólo emisiones de CH₄ y N₂O), 6,1 % de Queroseno y un 0,1 % de Otros combustibles.

- **1.B.1 Emisiones fugitivas**

Se consideran emisiones fugitivas a todas las emisiones intencionales o no intencionales de GEI liberadas durante la extracción, el procesamiento, almacenamiento y la distribución de combustibles fósiles.

Respecto de la contribución por subcategoría de la categoría (**1.B.1**) para el año 2016 se tiene lo siguiente⁴⁷:

1.B.1. Combustibles sólidos: 9,2%

1.B.2 Petróleo y Gas natural: 90,8%

En 2016, las emisiones de GEI de ambas subcategorías contabilizaron 1001,6 kt CO₂e, disminuyendo en un 4,5 % desde 2013, debido a la reducción de la producción de carbón de la minería subterránea y superficial, y la caída de la oferta de gas natural.

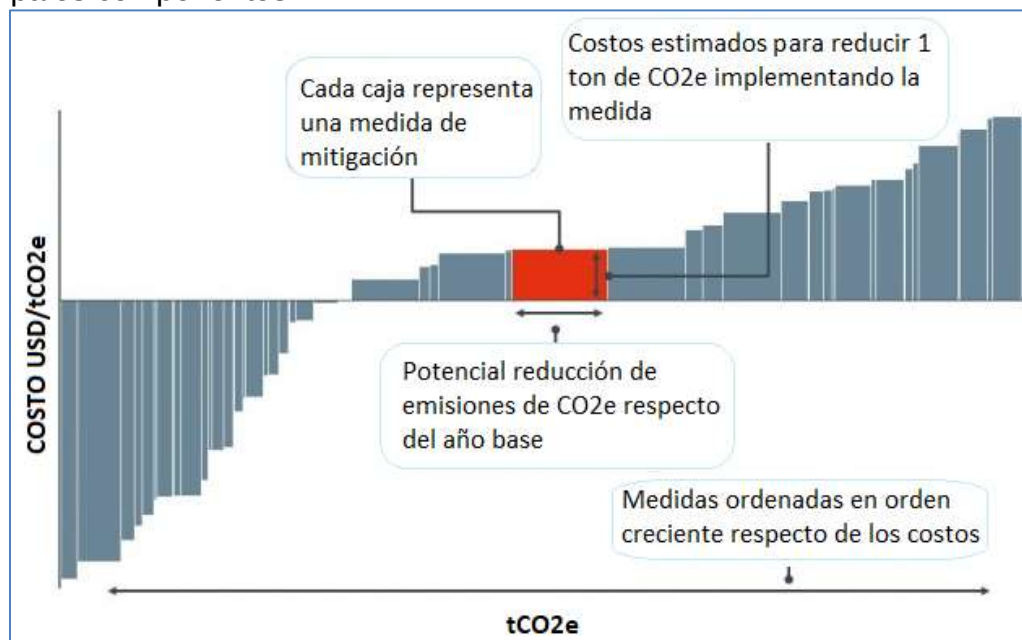
⁴⁶ Ministerio de Energía

⁴⁷ Ministerio de Energía

6.4.4 Curvas de abatimiento

Una curva de costo marginal de reducción (MACC, por sus siglas en inglés), muestra los costos de medidas implementadas para reducir las emisiones de GEI en basa a una proyección de la línea base para un año futuro.

El costo de abatimiento se define como los costos adicionales o beneficios percibidos de reemplazar una tecnología de referencia por una alternativa de bajas emisiones. En la Figura 12 se muestra una curca de abatimiento, indicando sus principales componentes.



Fuente: <https://www.climateworksaustralia.org/project/tools-resources/how-read-marginal-abatement-cost-curve>

Cada caja en la curva representa una medida de mitigación de emisiones diferente. El ancho de cada recuadro representa el potencial de reducción de emisiones que la medida puede alcanzar en el año base futuro en comparación con lo habitual. Y la altura de cada caja representa el costo neto promedio de reducir una tonelada de CO₂e a través de la implementación de la medida.

El gráfico se ordena de izquierda a derecha desde la medida con costo más bajo hasta la de costo más elevado. Así, las medidas que están bajo al eje horizontal se interpretan en que ofrecen el potencial de ahorro financiero incluso después de tener en cuenta los costos iniciales de capturarlas. Sin embargo, las medidas que aparecen sobre el eje horizontal tienen un costo asociado.

Finalmente, las curvas de costo de abatimiento de gas invernadero proporcionan una base cuantitativa para las discusiones sobre qué acciones serían las más efectivas en reducir las emisiones y lo que podrían costar. Proporcionan un mapa global de las medidas para reducir las emisiones de gases invernaderos a través de

los distintos sectores, sin embargo no considera las barreras de implementación.

6.5 Contexto Normativo en Chile

Chile ha estado desarrollando numerosas políticas públicas de manera de incentivar la disminución de emisiones de gases contaminantes y así cumplir con los compromisos adquiridos en la COP21. A continuación, se describen 3 normativas orientadas a la reducción de emisiones:

6.5.1 Ley N° 20.780 de Reforma Tributaria

La Ley 20.780 modifica los llamados impuestos específicos, los que tienen como objetivos:

- Disminuir las externalidades negativas que genera el consumo y la producción de determinados bienes
- Modificar la estructura de precios relativos para desincentivar su consumo y/o producción.

Los impuestos específicos son impuestos adicionales al IVA y se calculan sobre la misma base imponible. Estas modificaciones están vigentes desde el 1 de octubre de 2014.

- **Impuestos específicos verdes**

Son impuestos a la emisión de fuentes fijas y móviles, donde el **artículo 3°** de la Ley 20.780 establece que todos los vehículos motorizados nuevos, livianos y medianos, con las excepciones establecidas, pagarán por única vez, un impuesto adicional expresado en unidades tributarias mensuales (UTM), conforme a la siguiente fórmula:

$$\text{Impuesto} = \left[\frac{35}{\text{Rend urbano km/L}} + \left(120 * \frac{g}{\text{km}} \text{ de NO}_x \right) \right] * \text{Precio venta} * 6^{-8}$$

El instrumento se diseñó bajo el principio “el que contamina paga”. Pertenece a la familia de los impuestos correctivos: busca internalizar los costos externos sobre el medio ambiente debido a la emisión de contaminantes⁴⁸. Su principal objetivo es mitigar el daño ambiental que produce el uso de automóviles. Trae implícito dos objetivos específicos:

- Desincentivar el uso de vehículos particulares

⁴⁸ Rodrigo Carrasco Gaubert, Análisis Ley 20.780 sobre reforma tributaria

- Incentivar el consumo de automóviles con bajas emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y óxido de nitrógeno (NOx).

El impuesto verde móvil se enfoca en automóviles livianos nuevos de uso particular. Son sujetos de exención tributaria los vehículos que pasen a ser parte del activo fijo de las empresas como camiones, camionetas y furgones. Son sujetos a devolución íntegra del impuesto los vehículos que sean utilizados como taxis.

Por otro lado, el **artículo 8°** de la ley 20.780⁴⁹ promulgado en septiembre del 2014, establece un impuesto anual a beneficio fiscal que gravará las emisiones al aire de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂), producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen, una potencia térmica mayor o igual a 50 MWt (megavatios térmicos)⁵⁰ considerando el límite superior del valor energético del combustible. Este impuesto aplica tanto para personas naturales como jurídicas.

En el caso de las emisiones al aire de los contaminantes locales: MP, NOx y SO₂, el impuesto se calcula en base a una fórmula, cuyo objetivo es reconocer el daño diferenciado generado por las emisiones. Por esta razón, el impuesto es mayor en comunas declaradas saturadas o latentes de contaminantes y donde habita mayor población:

$$T_{ij} = 0,1 * CCA_j * CSC_{PCI} * P_{obj}$$

Donde:

T_{ij} = Impuesto por tonelada del contaminante “i” emitido en la comuna “j”, en US\$/Ton.

CCA_j ⁵¹ = Coeficiente de calidad del aire en la comuna “j”. Este es un coeficiente asociado a la zona donde se emplaza el establecimiento afecto y depende de una declaración legal del Ministerio del Medio Ambiente.

CSC_{PCI} = Costo social de contaminación per cápita del contaminante “i”, cuyos valores son los siguientes:

Contaminante	Costo (US\$)
MP	0,9
SO ₂	0,01
NOx	0,025

⁴⁹<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1067194>

⁵⁰ Impuesto vigente a partir del 2017

⁵¹ Zona saturada: 1,2 – Zona Latente: 1,1

P_{obj} = Población de la comuna “j”, de acuerdo a la proyección oficial para cada año del Instituto Nacional de Estadísticas.

En el caso de las emisiones de CO₂, el impuesto se fija en US\$ 5 por cada tonelada emitida. Este impuesto no aplica para fuentes fijas que operen en base a medios de generación renovable no convencional, cuya fuente de energía primaria sea la energía biomasa.

Finalmente, el Ministerio deberá publicar todos los años un listado de los establecimientos afectos al impuesto, determinado en base a la suma de la potencia térmica de las fuentes fijas que se encuentran en un establecimiento⁵².

6.5.2 Ley N° 18.502 Impuesto específico a los combustibles

La ley 18.502 de 1986 estableció un impuesto específico a los combustibles, el cual se aplica al consumo de gasolinas automotrices, petróleo diésel, gas licuado de petróleo y gas natural comprimido de consumo vehicular. El objetivo de esta norma fue para financiar la reconstrucción de caminos y carreteras producto del terremoto de 1985, por lo tanto era una carga impositiva transitoria que debían pagar todos los vehículos motorizados que transiten por calles, caminos, carreteras y vías públicas del país⁵³.

Este impuesto se aplica a los combustibles que se comercializan en Chile. Y según la ley N° 18.502, está compuesto por un componente base y otro variable y se desglosa de la siguiente forma:

Componente base:

- ✓ Gasolina automotriz : 6,0 UTM por m³ (442 USD/m³)
- ✓ Petróleo diésel : 1,5 UTM por m³ (111 USD/m³)
- ✓ Gas natural comprimido : 1,93 UTM por 1.000 m³
(142 USD por 1.000 m³)
- ✓ Gas licuado de petróleo : 1,40 UTM por m³
(103 USD/m³)

El componente variable sumará o restará al componente base según lo establece la ley N° 20.493 de 2011. En el componente variable se encuentra el “Mepco”, mecanismo de estabilización de los precios de venta de los combustibles.

Esta carga impositiva es un ingreso importante en la recaudación fiscal, por ende, en las gasolinas ha subido significativamente hasta llegar a 6 UTM por m³. Por otro lado, se debe mencionar que estas cifras no incluyen el 19% de IVA, por lo que

⁵² Un establecimiento se define como: “el conjunto de estructuras e instalaciones donde se localizan una o más calderas o turbinas, que están próximas entre sí y que por razones técnicas están bajo un control operacional único o coordinado.

⁵³ Artículo N°1, Ley 18.502

sumando ambos impuestos se alcanza cerca del 40% del costo total del precio por litro de combustibles. Este tributo es pagado fundamentalmente por automovilistas, taxis y transportistas, pudiendo las grandes industrias, mineras y empresas energéticas, entre otros sectores productivos, rebajar este impuesto al utilizarlo como crédito en sus operaciones.

Finalmente, el precio de los combustibles varía semanalmente con estos mecanismos de estabilización.

6.5.3 Ley de ERNC

- **LEY N° 20.257**

La ley 20.257 introduce modificaciones a la ley general de servicios eléctricos respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de Energías Renovables⁵⁴. Establece la obligación de establecer un porcentaje de la demanda mediante inyecciones proveniente de ERNC.

Se define la energía renovable no convencional como aquella generada mediante las siguientes fuentes de generación: energía de la biomasa, energía hidráulica y cuya potencia máxima sea inferior a 40 MW, energía geotérmica, energía solar, energía eólica, energía de los mares y otros medios de generación⁵⁵ determinados fundamentalmente por la CNE, para la generación de electricidad que contribuyan a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos y causen un bajo impacto ambiental.

El Artículo N° 150 de esta ley, establece que las empresas eléctricas que efectúen retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW para comercializarla con distribuidoras o con clientes finales para los contratos suscritos después de agosto de 2007. La obligación de proveer parte de los retiros por inyecciones de ERNC es de un 5% para los años 2010 a 2014, aumentando un 0,5% anual a partir del año 2015 hasta alcanzar un 10% el año 2024.

Además, indica que la empresa que exceda el porcentaje señalado anteriormente dentro del año en que se debe cumplir la obligación, con energía propia o contratada y aunque no hubiese efectuado retiros, podrá convenir el traspaso de sus excedentes a otra empresa eléctrica, los que podrán realizarse incluso entre empresas de diferentes sistemas eléctricos.

Finalmente, la empresa eléctrica que no acredite el cumplimiento de la obligación al 1 de marzo siguiente al año calendario correspondiente, deberá pagar un cargo,

⁵⁴ <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=270212&idParte=0>

⁵⁵ Incluida la cogeneración con un límite de 20 MW

cuyo monto será de 0,4 UTM por cada MWh de déficit respecto de su obligación. Si dentro de los tres años siguientes incurriese nuevamente en incumplimiento de su obligación, el cargo será de 0,6 UTM por cada MWh de déficit.

Esta ley fue modificada por la ley 20.698, la que exige que, en el año 2025, un 20% de inyecciones al sistema eléctrico provengan de medios ERNC para los contratos afectos a la ley.

- **LEY N° 20.698 (Ley 20/25)**

Modifica lo señalado en el Artículo N° 150 aumentando el porcentaje de retiros anuales de ERNC a un 20% para el año 2025. Esta nueva obligación aplica a los contratos de suministro suscritos con posterioridad al 1 de julio de 2013.

La obligación de proveer parte de los retiros por inyecciones de ERNC es de un 5 por ciento para el año 2013, incrementándose en un 1 por ciento anual a partir del año 2014 hasta alcanzar un 12 por ciento en el año 2020, con incremento de un 1,5 por ciento anual a partir del año 2021 hasta alcanzar un 18 por ciento en el año 2024, e incrementándose en un 2 por ciento el año 2025 para llegar al 20 por ciento. En la Figura 13, se muestra un esquema de las obligaciones establecidas por la ley.

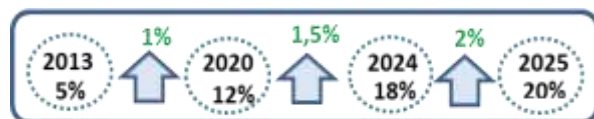


Figura 13. Distribución de porcentajes de inyecciones de ERNC

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ley 20/25

Para dar cumplimiento a parte de la obligación establecida, el Ministerio de Energía deberá efectuar licitaciones públicas anuales, para la provisión de bloques anuales de energía provenientes de medios de generación de energía renovable no convencional, con precios garantizados por 20 años.

La ley establece que para dar cumplimiento a los porcentajes de penetración de ERNC, el Ministerio de Energía debiese efectuar licitaciones públicas provenientes de ERNC, lo cual, con los resultados proyectados por la CNE hoy en día, no se proyecta aplicar a corto o mediano plazo ya que no se vislumbra un déficit de la meta establecida.

Cada licitación se realizará para dar cobertura total a aquella parte de la obligación señalada en el inciso primero del artículo anterior, que no sea cubierta con la inyección de energía proveniente de proyectos de energías renovables no convencionales en operación, en construcción o bloques de energía adjudicados, al momento de iniciarse el proceso de licitación, respecto de la cuota exigible al tercer año posterior a ésta, el que será considerado para los efectos de este artículo como el año de inicio. Con todo, el Ministerio de Energía no estará obligado a efectuar las

referidas licitaciones cuando la obligación señalada se encuentra cumplida.

Los bloques adjudicados se destinarán a dar cumplimiento, en todo o parte, a la obligación señalada en el inciso primero del artículo anterior, por lo que las empresas eléctricas que efectúen retiros del sistema podrán acreditar su cumplimiento mediante los certificados emitidos producto de la inyección de energía licitada y efectivamente inyectada, a prorrata de sus retiros.

6.5.4 Acuerdos de producción Limpia

Convenio de carácter voluntario celebrado entre una asociación empresarial representativa de un sector productivo y los organismos públicos competentes en materias ambientales, sanitarias, de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica y de fomento productivo, cuyo objetivo es aplicar la Producción Limpia a través de metas y acciones específicas en un plazo determinado para el logro de lo acordado⁵⁶.

6.6 Plan de mitigación de emisiones Sector Energía

El sector energía es el principal emisor de GEI, con un aporte de un poco más del 77% a las emisiones totales del país (110 MtCO₂e en 2013) debido principalmente al aumento del consumo de combustibles fósiles no sólo para generación eléctrica, sino también para distintos tipos de transporte, para la industria (incluida la minería), y para viviendas, edificios públicos y comerciales. En la Figura 14 se muestra la contribución por sector en millones de toneladas de CO₂e (MtCO₂e) para el año 2013, con el detalle de contribución de los subsectores que componen el sector energía.

⁵⁶ [http://www.cpl.cl/Acuerdos\(APL\)/](http://www.cpl.cl/Acuerdos(APL)/)

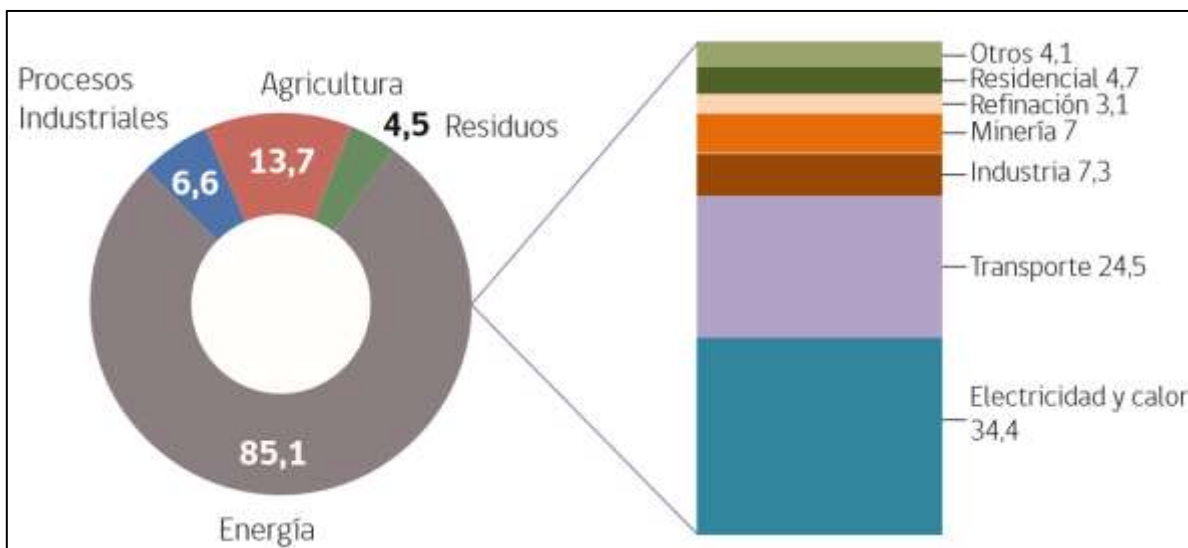


Figura 14. Emisiones GEI de Chile expresada en MtCO₂e por sector con detalle del sector energía.
Fuente: Inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2013 (SIN Chile, 2016)

De la Figura 14 se observa que los subsectores que más contribuyen a los GEI es el de Electricidad y calor con un 40% aproximadamente y el de transporte con un 28,7% del total de emisiones del sector energético.

Así, los esfuerzos en el sector energía son claves para alcanzar el compromiso NDC del país, es por esta razón que se establece el Plan de Mitigación de GEI en el sector de energía donde se implantan medidas en todos los subsectores de energía.

El Plan ha sido elaborado bajo el alero de la PEN 2050, así como el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 y se propone como un primer paso en la implementación de acciones de mitigación en el sector energía propuestas en el Acuerdo de París (AP).

El Plan de Mitigación del Sector Energía tiene como objetivo principal evaluar el impacto en reducción de emisiones de las medidas establecidas en la Política Energética Nacional (PEN) y su papel en apoyar al país para alcanzar una economía y una matriz energética significativamente más baja en carbono asociada principalmente a la reducción de la quema de combustibles fósiles hacia la mitad de este siglo.

6.6.1 Políticas consideradas para el desarrollo del Plan

Para alcanzar los compromisos internacionales de Chile direccionados hacia un desarrollo bajo en carbono para el sector energético, se necesita implementar medidas que permitan promover la inversión en tecnologías bajas en carbono y alentar el cambio de prácticas productivas y de consumo de los subsectores energéticos. Dentro de las medidas más importantes que el país ya ha adoptado

para direccionar hacia una política de cambio climático, se encuentra dentro de las más importantes⁵⁷:

- a) El perfeccionamiento de la competencia de los procesos de licitaciones eléctricas, Ley N°20.805/2015, que ha permitido mejorar la competitividad de las tecnologías renovables, gracias al establecimiento de bloques horarios y de estacionalidad para ciertas tecnologías.
- b) La promulgación de la Ley de Transmisión (Ley N°20.936/2016), la cual considera entre otros temas: una planificación de largo plazo de la expansión de la transmisión, un nuevo sistema de remuneración que simplifica el sistema actual, mayores facilidades para la conexión de los nuevos proyectos de generación y la creación de un nuevo Coordinador del Sistema Eléctrico, el cual será independiente de las empresas generadoras.
- c) La introducción de un impuesto a las emisiones de dióxido de carbono producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, sumen una potencia térmica mayor o igual a 50MWt, la cual entró en vigor en enero del año 2017, bajo la Ley N°20.780/2014.
- d) La introducción de un impuesto a la venta de vehículos ligeros, que grava las emisiones de contaminantes locales indirectamente, al cobrar un impuesto más alto inversamente proporcional al desempeño del vehículo, bajo la Ley N°20.780/2014.
- e) El establecimiento de una Ley de Net Billing (Ley N°20.571/2012) que ayudará a promover la integración de tecnologías dentro de la red de distribución nacional.

6.6.2 Relación del Plan con la PEN

El plan busca enfocarse en aquellas oportunidades que surgen a partir del marco de la Política Energética Nacional (PEN) al año 2015, la cual ha sido validada de manera política, social y técnica. La PEN considera 4 pilares fundamentales⁵⁸ donde define sus lineamientos estratégicos. A continuación se muestran los pilares y los lineamientos relacionados con la mitigación del cambio climático.

- **PILAR 1: Seguridad y calidad de suministro**

- i. Promover un sistema inteligente de producción y gestión descentralizada de la energía para los sectores residencial, público y comercial, no sólo para usuarios particulares, sino también para cooperativas, municipalidades y

⁵⁷ Ministerio de energía, Plan de Mitigación de GEI para el sector de energía.

⁵⁸ Seguridad y Calidad de suministro – Energía como motor de desarrollo- Energía compatible con el medio ambiente – Eficiencia y educación energética.

- organizaciones interesadas. (L5)
- ii. Promover un intercambio regional eficiente que aumente la flexibilidad del sistema eléctrico. (L6)

- **PILAR 2: Energía como motor de desarrollo.**

- i. Asegurar que el desarrollo energético favorezca el desarrollo local definido por las comunidades, de manera coherente con la estrategia nacional y regional, y promoviendo la implementación de desarrollos energéticos y proyectos impulsados por pequeños productores y comunidades interesadas en aprovechar los recursos energéticos de su territorio. (L9)
- ii. Reducir las distancias y el número de viajes para mayor eficiencia del sistema de transporte. (L16)

- **PILAR 3: Energía compatible con el medio ambiente**

- i. Promover una alta penetración de energías renovables en la matriz eléctrica. (L21)
- ii. Promover un desarrollo hidroeléctrico sustentable que permita alcanzar una alta participación renovable en la matriz eléctrica. (L22)
- iii. Fomentar la participación de combustibles de bajas emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos en la matriz energética. (L23)
- iv. Promover la producción y uso sustentable de biomasa forestal con fines energéticos para resguardar el patrimonio natural y la salud de las personas. (L24)
- v. Promover la reducción de las emisiones GEI en el sector energético. (L26)
- vi. Reportar y gestionar las emisiones directas e indirectas y el impacto ambiental. (L27)

- **PILAR 4: Eficiencia y educación energética**

- i. Formar un mercado robusto de consultores y empresas de servicios energéticos. (L28)
- ii. Implementar progresivamente herramientas de gestión energética validadas por entidades competentes. (L29)
- iii. Utilizar los recursos disponibles localmente y aprovechar los potenciales energéticos en los procesos productivos. (L30)

- iv. Edificar de manera eficiente por medio de la incorporación de estándares de eficiencia energética en el diseño, construcción y reacondicionamiento de edificaciones, a fin de minimizar los requerimientos energéticos y las externalidades ambientales, alcanzando niveles adecuados de confort. (L31)
- v. Promover sistemas de control, gestión inteligente y generación propia que permitan avanzar hacia edificaciones con soluciones eficientes para sus requerimientos energéticos.(L32)
- vi. Fortalecer el mercado de la edificación eficiente, avanzando hacia el desarrollo de mercados locales más productivos y eficientes.(L33)
- vii. Mejorar la eficiencia energética de los vehículos y de su operación. (L34)
- viii. Fomentar el cambio modal hacia alternativas de transporte más eficientes. (L35)
- ix. Asegurar que la población cuente con información masiva, oportuna, clara y transparente, en cuanto a deberes y derechos como consumidores, respecto de la energía en todos sus ámbitos, incluyendo el desarrollo energético y sus impactos sobre las comunidades y el medio ambiente, energías alternativas y métodos alternativos. (L36)
- x. Diseño, implementación y seguimiento de una estrategia educativa energética que consolide y articule las distintas iniciativas desarrolladas por el ministerio y de las instituciones asociadas. (L37)
- xi. Desarrollar capital humano profesional y técnico para la producción, uso y gestión sustentable de la energía.(L38)

6.6.3 Paquetes de Medidas claves del Plan

En este plan, los paquetes de medidas definidos para 4 subsectores están basados en los lineamientos estratégicos de la PEN, análisis de políticas existentes entrevistas con actores claves, talleres de discusión, entre otros, se muestran a continuación.

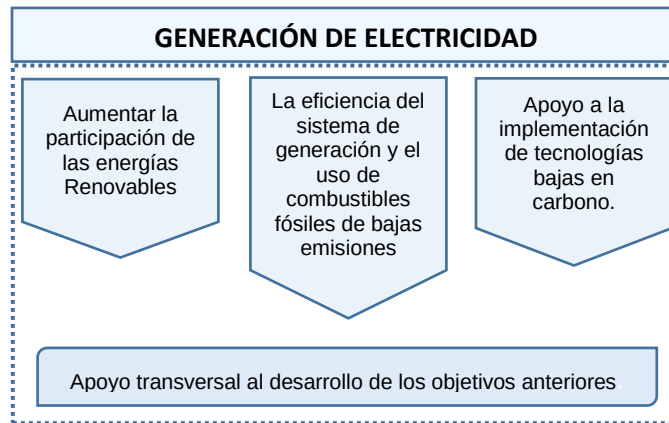


Figura 15. Paquetes que componen el Subsector Generación
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Plan de Mitigación GEI

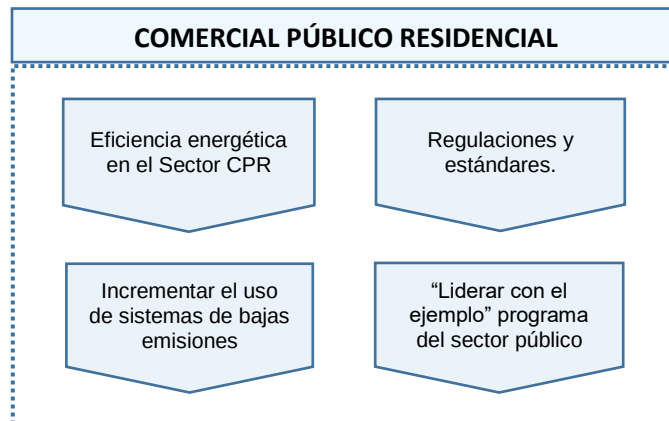


Figura 16. Paquetes que componen el Subsector Comercial, Público, Residencial
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Plan de Mitigación GEI

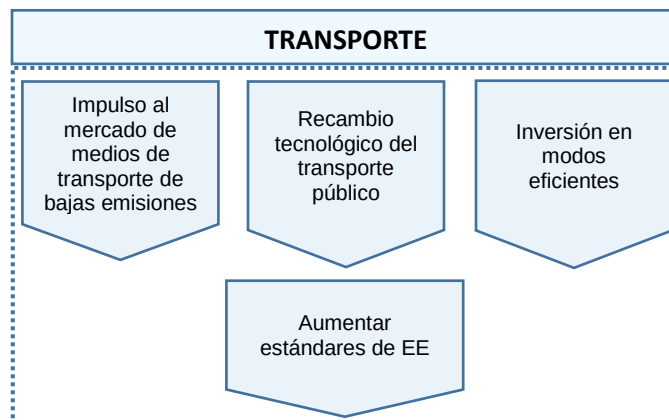


Figura 17. Paquetes que componen el Subsector transporte
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Plan de Mitigación GEI

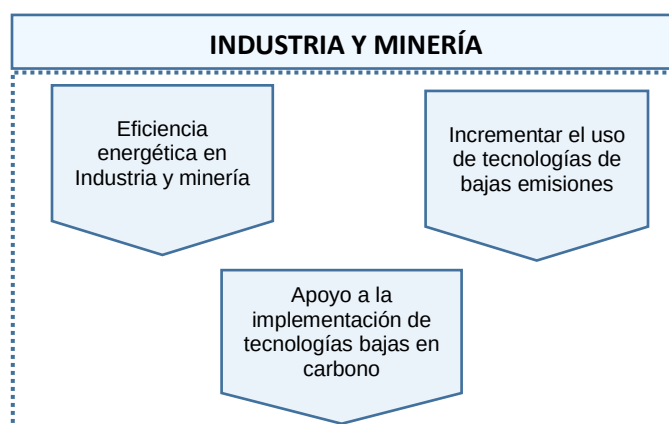


Figura 18. Paquetes que componen el Subsector Industria y Minería
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Plan de Mitigación GEI

Finalmente, para cada paquete, el plan propone medidas las cuales abarcan un conjunto más amplio que las indicadas en la PEN, con mayores exigencias lo que ayudará a preparar al país para mayores esfuerzos en el futuro. Las medidas propuestas para cada paquete serán analizadas posteriormente y se muestran en el Anexo II de este documento.

6.6.4 Efectos hipotéticos de la implementación de las medidas

A modo de referencia, en el plan se realiza un análisis de las medidas propuestas por cada paquete, y si se implementasen, como éstas impactarán en las emisiones al 2030 asociado además al cumplimiento del NDC del país.

Así a través de un modelo que utiliza como base un análisis prospectivo (MAPS⁵⁹), se evaluó la contribución de diferentes políticas para evaluar el cumplimiento de la meta NDC.

Se tomó como supuesto que el sector energía debe reducir en un 30% su intensidad de emisiones de GEI (CO₂e/PIB) al año 2030, respecto del 2007 y un 45% de contarse con donaciones externas.

Se modelaron tres escenarios principales:

- a) Caso de referencia: Políticas actuales
- b) Metas PEN
- c) Esfuerzo adicional

Para el caso de referencia se hace una proyección de las emisiones totales del sector energía donde se utiliza como supuestos⁶⁰ que al año 2030 no crecerán más

⁵⁹ Proyecto "Elaboración e implementación de herramientas prospectivas" desarrollado por E2BIZ

⁶⁰ Cabe señalar que la simulación tiene además unos supuestos principales los cuales se señalan en el Anexo III de este informe

allá de 110 MtCO₂e. En la Figura 19 se muestran los resultados obtenidos de la simulación.



Figura 19. Emisiones GEI 2014 – 2030 Escenario “Políticas Actuales” al año 2030.
Fuente: Plan de Mitigación GEI

Finalmente, en la Figura 20 se muestran los distintos escenarios modelados:

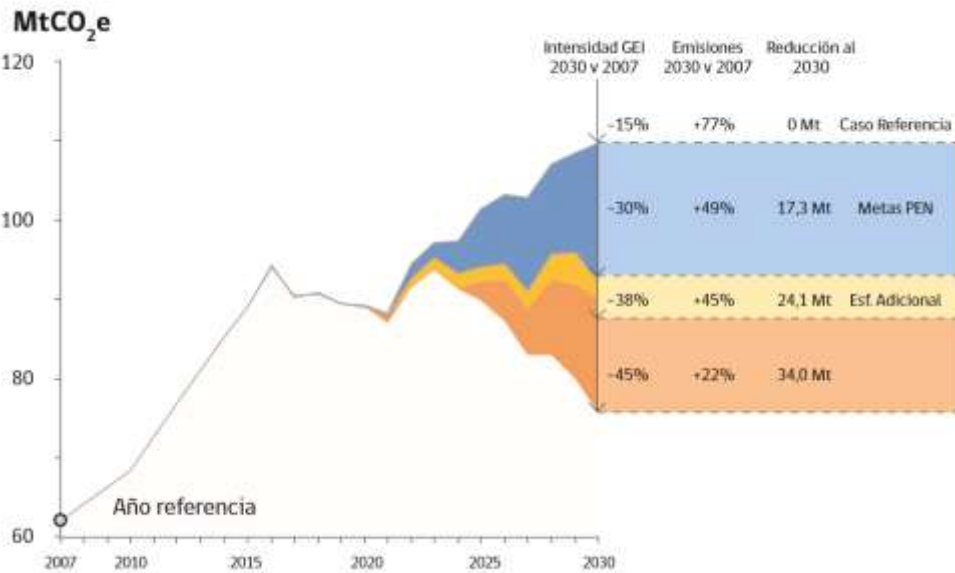


Figura 20. Escenarios de mitigación del sector energía.
Fuente: Plan de Mitigación GEI

De la Figura 20 se muestra que al año 2030 se reducirían 17,3 Mt CO₂e con las

metas PEN, y con esfuerzos adicionales un total de 24,1 Mt. Sin embargo, si se llevan estas toneladas a porcentajes de reducción en base a intensidad, se observa que para el año 2030 sólo se reduciría un 38%, por lo que según esta simulación no se estaría cumpliendo con el NDC del país.

7. DESARROLLO

7.1 Análisis de políticas públicas implementadas por el gobierno

Chile se ha convertido en un país pionero en el uso de instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero. Dentro de las normativas orientadas a la reducción de emisiones que se han implementado en Chile en el sector de generación de energía eléctrica se encuentran:

- **Norma de Emisiones de Centrales Termoeléctricas**

La norma de emisiones de centrales termoeléctricas, publicada en junio del 2011 bajo el Decreto 13 del Ministerio de medio ambiente, establece niveles de emisión similares a los definidos por la Unión Europea (EU) y en Estados Unidos de Norteamérica (USA), siendo incluso más exigente en algunos aspectos y con un nivel de requerimientos de emisiones superior a los definidos por el Banco Mundial.

Si bien esta normativa no establece un límite explícito de emisiones de GEI, constituye un instrumento a través del cual es posible fijar estándares para centrales termoeléctricas que resulten menores en emisiones de GEI.

- **Ley 20/25 (N° 20.698) de Energías Renovables No Convencionales (ERNC)⁶¹**

La ley no distingue entre las distintas tecnologías. Cada tecnología tiene requerimientos diferentes para impulsar su desarrollo. Con esta ley, dados los costos de inversión y los factores de planta de las diferentes tecnologías, se favorece prioritariamente a la mini-hidráulica, lo que no implica una diversificación de la matriz energética.

Por otro lado el monto de las cuotas que establece la ley no son representativos ni estables, ya que pueden variar llegando a duplicarse a fines del 2024.

Las generadoras convencionales son las que deciden si generan con ERNC, compran energía con ERNC o bien pagan la multa, por lo que la generación con ERNC dependerá de la medida que éstas tomen.

- **Ley N° 20.780 (Art. 8) impuesto a las emisiones.**

En septiembre de 2014, como parte de una ley general de reforma tributaria, Chile aprobó la implementación de un impuesto verde o pigouviano⁶² a las emisiones contaminantes procedente de fuentes fijas. Este tipo de impuestos tiene como

⁶² Tipo de impuesto que busca corregir una externalidad negativa.

finalidad contrarrestar las externalidades ambientales. El impuesto, implementado el 2017, afecta a establecimientos que cuentan con calderas o turbinas, y además, a la emisión de contaminantes globales (CO₂) y a la emisión de contaminantes locales (SO_x, NO_x, PM). Este instrumento introduce una nueva herramienta de gestión ambiental única en Sudamérica, que permite apoyar la reducción de la contaminación local y global⁶³.

Adicionalmente, se crea un impuesto para los automóviles nuevos, calculado en base a su rendimiento urbano y las emisiones de NO_x. Todo esto bajo la Ley 20.780, que desde su implementación el 28 de diciembre de 2014 ha incidido en la menor participación de vehículos ineficientes y contaminantes en los últimos años.

Los efectos que tiene el impuesto sobre el carbono pueden promover la sustitución de productos, cambios en las estructuras de producción de energía y fomentar el ahorro energético, así como la inversión en mejora de la eficiencia energética.

Sin embargo, uno de las desventajas de este impuesto que se visualizan en el corto plazo corresponde al aumento de los precios de los productos relacionados, y por ende los costos de las empresas, debilitando la competitividad de las industrias intensivas en energía limitando el crecimiento económico.

Por otro lado los impactos de mitigación del impuesto sobre el carbono son inciertos. Las empresas pueden reaccionar transfiriendo el mayor costo a los consumidores a través de alzas del precio de sus productos, por lo tanto, el impuesto al carbono sólo conduciría a una mayor recaudación fiscal en lugar de reducir las emisiones.

Finalmente, al aplicar el impuesto a las emisiones, no se asegura la mitigación de un nivel específico de emisiones como en la EU ETS.

7.2 Análisis Plan de mitigación sector energía

De los 4 sectores que aborda el plan de mitigación del sector energía (Generación, Industria y minería, CPR y transporte) se analizan los pro y los contra de las medidas con mayor relevancia propuestas dentro de cada paquete.

7.2.1 Comercial, Público Residencial

En este sector el que más contribuye a las emisiones de GEI es el Residencial. En la Figura 21 se muestra el paquete de medidas propuestas por el Plan de Mitigación.

CPR	MEPS, estándares para equipos y normativa térmica de viviendas.
-----	---

⁶³ <http://www.retc.cl/ley-20-780-articulo-8-impuestos-verdes-a-las-fuentes-fijas/>

	Sector público lidera con el ejemplo: programas de EE y ER en las edificaciones.
	Marco regulatorios de EE: Desacople/Certificados Blancos

Figura 21. Paquetes de medidas del Sector CPR.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Mitigación GEI

El subsector más importante en cuanto a consumo energético es el sector residencial, el cual es el más homogéneo del punto de vista de tipología de composición, por lo que se presta muy bien para medidas del tipo regulatorias que fijen estándares en cuanto al consumo de energía en usos y tecnologías existentes. Sin embargo, dado su conformación por particulares, con acceso a capital y conocimiento técnico desigual, además de la baja motivación que tienen para realizar cambios en sus consumos (gestión de la demanda) por su relativamente bajo gasto en electricidad en comparación con el comercio o industria, en lo referente a la adopción de nuevas tecnologías (por ejemplo, la generación con ERNC) requieren de apoyo financiero e información. LA implementación de tecnologías como los paneles fotovoltaicos, que presenta alto grado de madurez. Sin embargo, en muchos casos la inversión excede la capacidad financiera de los particulares. Se debe incentivar con modelos de negocio alternativo que permitan superar la barrera del financiamiento y abarcar sectores socioeconómicos bajos y medios. Para hacer económicamente más interesante este tipo de tecnologías, se evalúan políticas como la creación de un mercado de certificados de generación renovable transable.

Respecto al sector público, este tiene una menor incidencia en el consumo energético, pero tiene el rol de ser un promotor de las mejores prácticas y de las nuevas tecnologías. Es por esto que se identifica la importancia de realizar proyectos demostrativos de nuevas tecnologías y fijación de estándares de eficiencia, e incluso más integralmente: sustentabilidad para las edificaciones, lo que dinamiza la oferta de este tipo de servicios y puede servir de ejemplo al sector comercial, el cual presenta similitudes en el tipo y escala de edificaciones.

En cuanto al sector comercial, no se identifica una gran diversidad de políticas específicas que puedan aplicarse en el corto plazo, esto debido principalmente a la heterogeneidad de su composición. Sin embargo, las políticas de estándares de artefactos tienen un efecto transversal en este sector. En consideración a esto, la generación de acuerdos voluntarios parece una de las formas más eficaces de acelerar la aplicación de buenas prácticas que resulten financieramente eficientes para el privado.

Las medidas de eficiencia energética, provocan una reducción de la demanda de uso final de combustibles respecto del escenario de línea base. Entre estas medidas se encuentra el Proyecto Ley de Eficiencia Energética, aislación térmica y cambios en la normativa de la ordenanza de construcción, etiquetado de artefactos, Estándares Mínimos de Desempeño Energético (MEPS, por sus siglas en inglés) en motores y refrigeradores y reemplazo en el alumbrado público. Estas medidas

se asocian a reducciones directas de emisiones de CO₂e, a causa de la disminución del consumo de combustibles fósiles por parte de los sectores de consumo final. La reducción de consumo eléctrico como consecuencia de la eficiencia energética, reduce los requerimientos de generación eléctrica y contribuye también, en menor medida, a la mitigación.

7.2.2 Generación

Para el sector energético, que presenta el mayor potencial de mitigación, se proyecta una generación eléctrica a partir de fuentes renovables, sustitución de combustibles fósiles y mejora en la eficiencia de centrales térmicas. En Figura 22 se muestran las medidas abordadas para el sector Generación.

GENERACIÓN	Ley 20.257/20.698 Cuotas ERNC
	Impuestos al CO ₂ y a contaminantes locales / Desarrollo del mercado de carbono.
	Aumentar eficiencia y uso de combustibles limpios.
	Aumentar participación de las energías renovables.

Figura 22. Paquetes de medidas del Sector Generación.
Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Mitigación GEI

La penetración de las energías renovables con los instrumentos existentes hoy en día se ven factibles, sin embargo se requiere derribar las barreras de entrada, tanto legales, institucionales como económicas que tienen otras tecnologías como la geotermia. En particular, se establece como necesario perfeccionar el sistema de concesiones y entregar subsidios a la exploración que reduzcan los riesgos de llevar a cabo exploraciones infructuosas y de altos costos. También se recomienda aumentar la investigación y desarrollo en otras tecnologías en desarrollo, como la mareomotriz y undimotriz⁶⁴, dada la riqueza costera del país. Para ello se pueden establecer distintos fondos concursables, y subsidiar estudios y experiencias piloto.

Centrales de generación antiguas se adapten a la actual norma de emisiones de termoeléctricas, distinguiendo entre capacidad existente y nueva, llegando finalmente a eliminarlas por completo. Los estándares de emisión se prefieren a los de eficiencia por ser tecnológicamente neutrales: por ejemplo, una central antigua podría implementar eventualmente sistemas de CCSU⁶⁵ y cumplir con la norma.

7.2.3 Industria y minería

Se analizan los aspectos relevantes de las medidas propuestas mostradas en la

⁶⁴ Energía que proviene de las olas

⁶⁵ Sistemas de Captura, Almacenamiento y uso de CO₂, por sus siglas en inglés.

Figura 23.

INDUSTRIA Y MINERÍA	MEPS para motores.
	Merco regulatorio EE: Sistemas de Gestión de Energía.
	Evaluación y apoyo para la implementación de tecnologías bajas en carbono.

Figura 23. Paquetes de medidas del Sector Industria y Minería.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Mitigación GEI

Para reducir el consumo de energía se requiere incrementar la eficiencia energética en la industria a través de tecnologías eficientes y la implementación de Sistemas de Gestión de Energía. Se requiere además que cada industria cuente con personal capacitado en eficiencia energética. En los sistemas térmicos se está apuntando al sistema de etiquetados y MEPS. Se sugiere implementar la cogeneración para los sistemas térmicos.

Otra arista que aborda este sector es utilizar los residuos para generar energía, de manera de minimizar las emisiones de los rellenos sanitarios y abordar la disposición de residuos de manera sustentable.

Se considera la opción de evaluar la sustitución del diésel utilizado como combustible en maquinaria pesada por otros con menores emisiones como GN, hidrógeno electricidad.

Finalmente la medida de las MEPS ya se encuentra implementada en funcionamiento. Se considera que es una medida apropiada para la industria, ya que el análisis detallado arroja un potencial relevante de mitigación, aportando también a la competitividad empresarial, con inversiones costo efectivas, además de una implementación simple en aspectos administrativos, legales y financieros.

➔ Barreras a la Eficiencia Energética

Tabla 7. Barreras a la eficiencia energética

Barreras	Descripción
Informativas	- Desconocimiento del potencial de eficiencia y alternativas tecnológicas existentes.
Culturales	- Resistencia al Cambio - Aversión al cambio
Económicas	- Costos de inversión - Acceso a sistemas de financiamiento
Técnicas	- Falta de capital humano con conocimientos adecuados. - Inexistencias de mediciones de consumos y características operacionales.

Institucionales y reglamentarias	- Falta de autoridad de las unidades de gestión de energía en el interior de la empresa. - Falta de reglamentación que exija niveles de eficiencia energética.
---	---

Fuente: Elaboración propia a partir de División de Eficiencia Energética de Marcelo Padilla, Ministerio de Energía.

7.2.4 Transporte

El transporte es el sector de mayor consumo de energía final junto al sector industria y minero, sin embargo la tendencia en el corto plazo posiciona al sector transporte como el mayor consumidor de energía y consecuentemente el mayor emisor de gases de efecto invernadero. En la Figura 24 se muestra las medidas propuestas para el sector de transporte.

TRANSPORTE	Inversión en infraestructura para el transporte público y planificación urbana
	Impulso al mercado de vehículos de bajas emisiones.
	Recambio tecnológico en el transporte público.
	Aumentar infraestructura de transporte ferroviario y trenes urbanos.
	Marco regulatorios de EE: aumentar la eficiencia energética de vehículos.

Figura 24. Paquetes de medidas del Sector Transporte.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Mitigación GEI

El aumento de participación de combustibles fósiles representa el mayor potencial de mitigación del sector. Sin embargo, la reducción del uso de este tipo de combustibles implica, en la mayoría de los casos, fortalecer la participación de tecnologías que requieren una inversión superior a la de los vehículos convencionales. Además es necesario el desarrollo de infraestructura necesaria para el abastecimiento de estos combustibles alternativos, como electricidad e hidrógeno.

Otras políticas que se plantean en esta línea son los subsidios y/o exenciones fiscales por la adquisición de vehículos de cero o baja emisión. En el caso de los subsidios se presenta una dificultad financiera por parte del estado ya que es necesario un volumen de recursos muy elevado para que la política tenga efectos significativos. En el caso de exenciones fiscales como el permiso de circulación, la dificultad radica en la disminución de la recaudación fiscal, y en evaluar si estas exenciones tienen un impacto significativo en la decisión de compra. En el pasado se utilizó una política de exención del permiso de circulación para la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos, sin embargo este instrumento no logró impulsar las ventas de estas tecnologías ya que la inversión adicional supera ampliamente las ventajas tributarias propuestas.

En Chile el gas natural y el gas licuado de petróleo están gravados para su uso en transporte, además por regulación los particulares no pueden convertir sus vehículos a estas tecnologías. En la actualidad los vehículos livianos y medianos están gravados con el denominado “impuesto verde”, este impuesto se aplica por única vez a la compra de vehículos y se calcula de acuerdo al nivel de rendimiento urbano, emisión de óxido de nitrógeno y precio de venta del vehículo. Vehículos a tracción eléctrica están exentos de este impuesto.

Dentro de los impactos benéficos que se observan a partir de la implementación de las medidas propuestas se señalan:

- a. Reducción del tiempo de traslado.
- b. Reducción de los costos operacionales.
- c. Reducción de CO₂ y otros contaminantes.
- d. Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- e. Generación de fuentes de empleo.
- f. Mejora de la imagen urbana

7.3 Comparación con otras estrategias de mitigación a nivel mundial

Con el fin de analizar la efectividad de las políticas públicas y medidas adoptadas por el país frente a la mitigación de GEI, se analizan casos en otros países los que permitirán realizar una comparación certera.

7.3.1 Ejemplo de estrategias de mitigación por país

- **China**

Los planes Quinquenales son un conjunto de iniciativas de desarrollo económico y social que sirven para trazar las estrategias de China para su crecimiento en períodos de cinco años. Normalmente incluyen objetivos de crecimiento numéricos y ofrecen directrices de políticas para las reformas.

Desde la emisión del primer Plan Quinquenal en 1953, China ha publicado 13 documentos de este tipo, aunque el nombre oficial de los últimos dos programas cambió de "Plan Quinquenal" a "Directrices Quinquenales" para reflejar una economía mucho más orientada al mercado

La Agencia Internacional de Energía (Burnard et al), considerando que el carbón es uno de los combustibles más utilizados en el mundo⁶⁶, y dado la creciente inquietud respecto de la emisión de GEI a la atmosfera, desarrolló un estudio para identificar estrategias de mejora en centrales a carbón antiguas.

⁶⁶ A la fecha del estudio la capacidad instalada mundial de generación a carbón alcanzaba a 1.700.000 MW y producía el 41% de energía eléctrica.

El estudio señala que la eficiencia promedio mundial de la flota de centrales carboneras era de 33%, inferior a las mejores tecnologías disponibles que alcanzaban un 45% de eficiencia. Así, si se alcanzará una eficiencia promedio de la flota de centrales carboneras de un 42%, el estudio indica que se podrían reducir las emisiones de CO₂e en 2.000 millones de toneladas al año.

El estudio identificó que China impulsó como iniciativa de reducción de emisiones de CO₂e, el incremento sostenido en el tiempo de la eficiencia media de la flota de centrales carboneras, mediante una combinación de medidas:

- Incorporación de unidades generadoras de diseños avanzados con alta eficiencia.
- Mejoramiento de centrales generadoras existentes.
- Retiro de servicio de centrales de menor capacidad instalada y menor ineficiencia.

En el marco de este plan, China incorporó nuevas centrales carboneras de tecnología avanzada de mayor eficiencia y mayor tamaño, del tipo supercríticas y ultra supercríticas.

Como medida complementaria, dispuso el retiro centrales carboneras pequeñas e ineficientes, con potencias de 100 MW o menos, por una potencia instalada total de 77.000 MW.

Además, implementó un plan de mejoramiento de la eficiencia del parque generador con potencias instaladas en el rango 200 MWe a 300 MWe.

Así, en un periodo de 5 años correspondiente al 11avo plan Quinquenal, el parque generador a carbón de China mejoró su eficiencia, pasando desde un consumo específico medio de 370 [g/kWh] a 335 [g/kWh]. En dicho período, se incorporó 7 centrales carboneras con tecnología avanzadas con un consumo específico inferior a 280 [g/kWh].

En el 12avo plan Quinquenal se fijó un objetivo alcanzar un consumo específico medio de 323 gr/kWh al año 2015.

Según China en el *Electricity Industry Development Report* del año 2013, el consumo específico medio de la flota de centrales a carbón alcanzó a 325 [g/kWh] en 2012, lo que representa una mejora de 13,8% de la eficiencia.

Respecto de los principales objetivos de las medidas de mitigación que propone China en su Plan Quinquenal destacan:

- a. Un crecimiento medio de al menos 6,5% anual en el Quinquenio.
- b. El sector servicios deberá presentar un 56% del PIB en 2020, es decir cinco puntos y medio más respecto a 2015 (50,5%).
- c. Un tope al consumo de energía por debajo de los 5.000 millones de toneladas

- de carbón equivalente al 2020.
- d. Reducciones del consumo de energía y de emisiones de CO_{2e} por unidad de PIB en 15% y 18% respectivamente a 5 años respecto de los niveles de 2015.
 - e. Calidad de aire en las ciudades calificable de “bueno” al menos el 80% del tiempo.
 - f. Un aumento de la producción de energía nuclear a 58 GW al 2020.
 - g. Una red de autovías de 30.000 km en 2020, además de la construcción de al menos 59 nuevos aeropuertos civiles.
 - h. Aumento del ingreso per cápita de al menos 6,5% cada año.
 - i. Creación de 50 millones de empleos en las zonas urbanas en 5 años.
 - j. Población urbana equivalente al 60% de la población total.

- **Unión Europea⁶⁷ (UE)**

La UE utiliza, para el cumplimiento de sus metas de reducción, el sistema de comercio de derechos de emisión (UE ETS, por sus siglas en Inglés) creado el año 2005. Este instrumento de mercado permite la comercialización de derechos de emisión entre unas 13.000 instalaciones industriales europeas. Esta normativa establece que, al finalizar cada año natural, las instalaciones deben entregar un número de derechos equivalente a sus emisiones de CO_{2e} verificadas durante dicho periodo.

Los participantes de los UE ETS pueden reducir sus emisiones internacionalmente (recambio tecnológico, implementación de Eficiencia Energética, otros) o acudir al mercado a comprar EUAs⁶⁸ (*European Allowances Units*) de otras instalaciones excedentarias.

El principio básico de estos esquemas consiste en la fijación de un límite máximo a la cantidad total de emisiones permitidas para un periodo de tiempo determinado (tope o CAP). Cada participante recibe una cantidad específica de permisos de emisión los cuales pueden ser comercializados en un mercado. El precio de los permisos es determinado por el mercado bajo el concepto de Oferta y demanda.

Así, si una instalación necesita emitir una cantidad de CO_{2e} superior al número de derechos que dispone, tiene dos opciones:

1. Acudir al mercado para comprar derechos adicionales.
2. Invertir en medidas de eficiencia energética o de mejoras de procesos que reduzcan sus emisiones.

De manera análoga, si emite menos CO_{2e} que el volumen de derechos de los que dispone, puede acudir al mercado para vender sus excedentes, o guardarlos para

⁶⁷ Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía y Suecia.

⁶⁸ Unidad de comercio de Mercado Europeo, 1 EU allowance = 1 Ton CO_{2e}

utilizarlos en el futuro.

Este sistema, también se apoya en los mecanismos flexibles establecidos por el Protocolo de Kioto, en particular, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Los proyectos MDL generan derechos de emisión más económicos que los derechos del EU-ETS, llamados CERs por sus siglas en inglés.

EL EU-ETS consta de tres fases:

→ **FASE 1 (2005 – 2008):**

Principales características:

- Su aplicación se limitaba exclusivamente a las emisiones de CO₂ generadas por productores de electricidad e industrias con uso intensivo de energía.
- Prácticamente todos los derechos de emisión asignados a las empresas eran gratuitos.
- El importe de la multa por exceso de emisiones ascendía a 40 euros por tonelada.

En la primera fase se instauró:

- la tarificación de las emisiones de carbono.
- el libre comercio de derechos de emisión a través de la UE.
- la infraestructura necesaria para el seguimiento, la notificación y la verificación de las emisiones generadas por las empresas participantes en el RCDE UE.

En ausencia de datos fiables sobre emisiones, se utilizaron estimaciones para establecer los límites máximos de la primera fase. Como resultado, la cantidad total de derechos concedidos sobrepasaba las emisiones y, con una oferta muy superior a la demanda, el precio de los derechos cayó a cero en 2007 (no era posible arrastrar a la segunda fase derechos de emisión de la primera).

→ **FASE 2 (2008 – 2012):**

Principales características:

- Reducción de los límites máximos de derechos de emisión (un 6,5% aproximadamente respecto a las cifras de 2005).
- Incorporación de tres nuevos países: Islandia, Liechtenstein y Noruega.
- Inclusión, por varios países, de las emisiones de gases de óxido nítrico procedentes de la producción de ácido nítrico.
- La proporción de derechos de emisión gratuitos descendió ligeramente situándose en torno al 90%.
- El importe de la multa por exceso de emisiones se elevó a 100 euros por tonelada.

- Las empresas podían comprar créditos internacionales hasta un total cercano a los 1.400 millones de toneladas de CO₂e.
- El 1 de enero de 2012 se incorporó el sector aeronáutico.

Dada la disponibilidad de datos sobre emisiones anuales verificadas durante la fase piloto, los límites máximos de derechos de emisión se redujeron en la segunda fase en función de las emisiones reales. Sin embargo, la crisis económica de 2008 provocó una reducción de emisiones mayor de la prevista. El resultado fue un excedente de derechos y créditos que repercutió duramente en el precio del carbono durante toda la segunda fase.

→ **FASE 3 (2013 – 2020):**

Las principales características:

- Establece un límite de emisión único para toda la Unión Europea.
 - Los derechos de emisión son asignados a través de la subasta.
 - Se contemplan más emisiones y gases.
- a. Dióxido de carbono (CO₂) de diversas procedencias:
 - generación de calor y electricidad
 - sectores de consumo energético intensivo, incluyendo las refinerías de petróleo, acerías y plantas de producción de hierro, aluminio y otros metales, cemento, cal, vidrio, cerámica, pasta de papel y papel, cartón, ácidos y productos químicos orgánicos en bruto
 - aviación comercial.
 - b. Óxido nítrico (N₂O) procedente de la producción de ácidos (nítrico, adípico y glioxílico) y de glioxal.
 - c. Perfluorocarburos (PFC) procedentes de la producción de aluminio.

Finalmente, las empresas propietarias de las instalaciones afectadas por esta normativa, tienen la capacidad de utilizar derechos emitidos por proyectos registrados como MDL hasta un porcentaje determinado de sus emisiones. Por lo tanto, si necesita comprar emisiones, hasta un límite podrá adquirir CERs, ahorrando de este modo dinero. Si tiene un exceso de derechos, también podrá canjear sus EUAs por CERs para beneficiarse de la diferencia de precio⁶⁹.

→ **Principales Ventajas:**

Garantiza la eficacia medio ambiental, ya que al establecer un límite máximo y controlar los GEI efectivamente emitidos permite alcanzar los objetivos de reducción de emisiones con un alto grado de certidumbre.

⁶⁹ Práctica conocida como EUA-CER Swap, www.futuracarbono.com

Asegura la rentabilidad, ya que asegura que la reducción se realice donde la mitigación sea menos costosa, logrando el objetivo medio ambiental al menor costo posible para la economía. Las industrias tienen la flexibilidad de implementar sus propios esfuerzos de reducción o comprar derechos de emisión de mercado.

Flexibilidad económica, el derecho de emisión de carbono tiene un precio establecido que se ajusta a las condiciones económicas actuales. Por tanto, si la economía crece y las emisiones aumentan, el precio de los permisos se incrementa.

Acelera el desarrollo, la difusión y utilización de tecnologías de bajas emisiones de carbono, al fijar el límite máximo de emisiones totales a largo plazo, este tipo de comercio da señales de precio de carbono a largo plazo y provee de incentivos importantes para la inversión privada en el desarrollo de tecnologías de bajas emisiones de carbono. Estimula la difusión de las tecnologías entre los participantes de mercado.

Posibilidad de interconectar los sistemas con los de otros y cooperar en las actividades de mitigación, la interconexión permite formar mercados mayores y de esta manera ayudar a expandir el número de opciones de mitigación rentables e incrementar la liquidez de mercado.

➔ Principales Desventajas:

Efecto sobre los precios de la electricidad, que repercute en los usuarios, ya que es cargado a ellos el costo adicional de las generadoras.

El ETS ha funcionado como un sistema de subsidios para aquellos que más contaminan, y que la mayoría de los costos para cumplir con las metas propuestas de emisiones se han trasladado a los consumidores.

El ETS se caracteriza por precios de carbono volátiles y a la baja desde 2008. El mínimo histórico se alcanzó en diciembre de 2012 con los permisos vendiéndose a 5.89 euros y los créditos de compensación a 0.31 euros⁷⁰.

El ETS se enmarca en una economía dependiente de los combustibles fósiles, ya que refuerza la lógica de la sobre producción y consumos basados en los combustibles fósiles. Permite que crezca la contaminación a la vez que implementa proyectos de desarrollo limpio que en la práctica perjudican a la población local y al medio ambiente.

- **Canadá**

Canadá no tiene un impuesto federal sobre las emisiones de CO₂e ni tiene planes

⁷⁰ Point Carbon, 03 diciembre, 2012, EU carbon prices. www.pointcarbon.com/news/reutersnews/1.2080305

para implementar un sistema de transacciones nacional de emisiones ya que ha implementado esquemas de impuesto al carbono en acciones basadas en las provincias.

Columbia Británica (PIB US\$38,259 a 2015 y crecimiento de 1.1%) implementó el impuesto al carbono el 2008 con un valor de 10,2 US\$/ton CO₂e y lo incrementó a 29.4 US\$/ton CO₂e al año 2012. El impuesto se aplica a la compraventa de combustibles. El impuesto recaudado se destina a reducciones de impuestos a los consumidores de menores ingresos para compensar los efectos del impuesto al carbono. A ello se agrega otras reducciones y exenciones tributarias.

Ahmadi (2016) analizó el efecto del impuesto al carbono en Columbia Británica, concluyendo que este impuesto no tuvo un impacto relevante en las reducciones de emisiones en la industria, observando una disminución en la intensidad en carbono y un aumento de la producción. Ahmadi concluye que la principal razón de estos resultados es la baja del impuesto a la renta.

- **Finlandia**

En 1990 fue el primer país en introducir un impuesto al carbono. Inicialmente el impuesto se aplicó al petróleo, gas natural, carbón y turba con un valor de 1,34 US\$/ton CO₂e, el que se incrementó sucesivamente en el tiempo, su estructura cambió e incorporó varios esquemas de reintegros tributarios.

Actualmente, el impuesto al CO₂ alcanza a 61 US\$/ton CO₂e. Las medidas implementadas por el gobierno para contener las alzas de costos han sido:

- Reintegró de impuestos a la industria
- Generación de electricidad está exenta del impuesto
- Impuestos reducidos a turba, biocombustibles y plantas de cogeneración.

- **Noruega**

El impuesto al carbono fue introducido en 1991, siendo aplicado al petróleo de calefacción, gas natural, gasolina y GLP. La tasa de impuesto aplicada varía según sector, combustible y uso. El monto del impuesto varía entre 4 y 54 US\$/ton CO₂e. Las emisiones cubiertas por el sistema de ETS de la UE están exentas de este impuesto.

La recaudación del impuesto proveniente de la industria del petróleo se destina al financiamiento del sistema de pensiones y el resto al presupuesto de la nación.

Las emisiones de carbono de Noruega se han incrementado en un 2.5% entre 1990 y 2014. El país tuvo un sostenido crecimiento de PGB y de su población, sin embargo, su intensidad energética se ha reducido.

- **Suecia**

Suecia introdujo el impuesto al carbono en el año 1991, siendo originalmente parte de una reforma tributaria profunda.

Al año 2016, el impuesto alcanzó 132 US\$/ton CO₂e, siendo el más alto del mundo. El impuesto se aplica sobre los combustibles para calefacción y transporte.

La industria intensiva en energía se rige bajo el esquema ETS de UE, y respecto de ella no aplica el impuesto al carbono.

Esto se complementa con una tasa de impuesto corporativo reducida para la industria y la agricultura.

- **Dinamarca**

En el año 1990 Dinamarca fijó el objetivo de reducir sus emisiones de carbono en un 20% al año 2005 respecto del año 1988, para lo cual introdujo un impuesto de 16.9 US\$/Ton CO₂e a los combustibles fósiles destinados a calefacción. El impuesto se redujo a aquellos consumidores que suscribieron acuerdos voluntarios de eficiencia energética con la Agencia Danesa de Energía.

En 1996, amplió la cobertura del impuesto al CO₂e y redujo impuestos al trabajo y energía. Para las empresas intensivas en consumo de energía que suscribieron acuerdos de eficiencia energética de largo plazo, recibieron reintegros parciales del impuesto al CO₂e.

Con el fin de mitigar los efectos del impuesto, el gobierno implementó

- Direccionar la recaudación de impuestos a las empresas para reducir las contribuciones a seguridad social y pensiones.
- Subsidio al costo administrativo de PYMEs.
- Menores tasa de impuesto corporativo a empresas sujetas a competencia internacional.
- Reducciones tributarias a empresas participantes de programas de eficiencia energética voluntarios

Aproximadamente el 40% de la recaudación se destinó a incentivos ambientales y el 60% restante a las otras acciones mencionadas.

Dadas las preocupaciones respecto de la pérdida de competitividad y de puestos de trabajo del país, se adoptaron acciones para mitigar los efectos.

- **Japón**

En el año 2012 se incorporó un impuesto al carbono sobre los combustibles fósiles, con el propósito de financiar acciones de eficiencia energética y el desarrollo de

tecnologías de menores emisiones de carbono.

El impuesto cubre el 70% de las emisiones del país, con algunas excepciones en los sectores agricultura, forestal, pesca y transporte. El impuesto es de 2.54 US\$/ton CO₂e. y es adicional al impuesto a los combustibles petróleo y carbón.

- **Australia**

La experiencia de Australia es bastante reveladora. Sus emisiones de CO₂e representan aproximadamente 1,5% de las emisiones globales. A pesar de su baja contribución a las emisiones globales y producto de la falta de un acuerdo global de reducción de las mismas, el país decidió establecer un impuesto a las emisiones de carbono.

Así, en el año 2012 entro en vigencia el mecanismo de precio de carbono en Australia, el cual tenía dos etapas: i) período inicial con impuesto al carbono en un valor fijo (23.4 US\$/ton CO₂e) por tres años, y ii) posteriormente un sistema de transacciones de emisiones. El impuesto fue concebido con el objetivo de ser fiscalmente neutro, siendo destinado a sectores de bajos ingresos para compensar los efectos del impuesto y a programas de reconversión laboral.

A fines de 2013, sin embargo, el gobierno de Australia inició la tramitación de la derogación del impuesto al CO₂, siendo oficialmente suprimida el 17 de Junio, ocasión en que el parlamento australiano votó 39-32 a favor de la revocación de este impuesto y del sistema de *Cap-and-Trade*. Las razones que fundaron la decisión del gobierno fueron la necesidad de reducir las tarifas de electricidad y gas, impulsar el crecimiento económico y reducir el costo de vida de los hogares y el costo que implica mantener las entidades que verifican el cumplimiento. Efectivamente en el período 2009-2014 se observó una disminución de la competitividad de Australia sobre la base del índice *Global Competitiveness Index*, pasando del lugar 15 en 2009 al lugar 21 en 2014.

7.3.2 Resumen del análisis

Como se vio en el capítulo VI, la industria eléctrica es el principal emisor dentro del sector energía. Sin embargo, no basta con cobrar impuestos por las externalidades negativas que producen las centrales, sino que se debe fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías de generación eléctrica más limpia, que sean capaces de diversificar la matriz energética, haciéndola cada vez más competitiva.

Los mecanismos de impuestos al carbono han sido aplicados en pocos países, cubriendo menos del 15% de las emisiones totales del mundo.

La revisión de la experiencia internacional muestra que los efectos del impuesto al carbono son de difícil contrastación, y en varios casos no hay efectos relevantes ni es posible establecer certeza entre la reducción de emisiones y la existencia del

impuesto. En un informe elaborado para el Banco Mundial se señala que en los países donde se ha logrado reducciones de emisiones carbono, los esquemas de impuestos al carbono se han complementado con otras medidas, como la fijación de estándares de emisión.

Por otra parte, se observa que en la mayoría de los países en que existe un impuesto al carbono, la recaudación que se obtiene de ellos, se destina a compensar de distintas maneras a los agentes afectados por la aplicación de dichos impuestos.

A ello se debe agregar que, en varios países existen exenciones totales o parciales a sectores productivos específicos, tales como agricultura e industria.

Finalmente, la experiencia de Australia es especialmente relevante, ya que decidió revertir el esquema de impuestos al carbono dado los efectos que estaba causando sobre los consumidores.

En el caso de la fijación de estándares de emisiones, China ha sido exitosa en la reducción de emisiones del sector generación para las centrales carboneras mediante la mejora de la eficiencia de las centrales. Sin embargo, cabe señalar que incorporó centrales con tecnologías avanzadas y a su vez dispuso el retiro de centrales carboneras pequeñas e ineficientes, con potencias de 100 MW o menores llegando a un total de 77.000 MW de potencia instalada.

8. PROPUESTA DE POLÍTICA PÚBLICA PARA EL SECTOR ENERGÍA

Para abordar el análisis de este trabajo, se identifican dos enfoques: el primero basado en la experiencia internacional y el segundo basado en el análisis de costos –beneficio asociado a las medidas más significativas propuestas en el plan de mitigación nacional representado con una curva de abatimiento al año 2030 basado en la proyección de emisiones de un estudio realizado para Generadoras de Chile⁷¹.

8.1 Interpretación del compromiso nacional y lineamientos

Del análisis de las emisiones del año 2007 para todos los sectores (no incluye el AFOLU) y considerando el PIB de ese año, la intensidad descrita en la meta que propone Chile corresponde a 1,02 [tCO₂e/MM\$]⁷², por lo que la disminución del 30% corresponde a alcanzar una intensidad de 0,71 [tCO₂e/MM\$] al año 2030 lo que se traduce en una reducción de 7,4 [MMtCO₂e].

Siguiendo la misma analogía anterior, para el caso del sector energía se considera que la intensidad del sector según año 2007 corresponde a 0,75 [tCO₂e/MM\$], por lo que cumplir con la meta de un 30% correspondería a alcanzar una intensidad de 0,52 [tCO₂e/MM\$].

Chile se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI. Para ello, debe determinar una estrategia de reducción que le permita cumplir sus compromisos pero sin afectar el crecimiento económico. En la práctica debe determinar qué conjunto de medidas de mitigación impulsar para tal propósito.

Los lineamientos del nuevo gobierno se basan en la “Ruta Energética” lanzada el 25 de mayo 2018, la cual presenta 7 lineamientos y se considera como el camino por el cual Chile debiese transitar para lograr su desempeño energético con un claro foco en la descarbonización de la matriz energética. En la Figura 25 se muestra el esquema presentado por el Ministerio de Energía.

⁷¹ Actualización de la proyección de emisiones 2017 – 2030, junio 2017.

⁷² Base 2011



Figura 25. Ruta Energética

Fuente: Ministerio de Energía

A esta Ruta se asocian 10 mega compromisos que se señalan a continuación:

1. Levantar un mapa de vulnerabilidad energética del país, identificando a las familias que no cuentan con electricidad y otros servicios energéticos, con miras a acortar las brechas existentes.
2. Modernizar la institucionalidad energética para aumentar la eficacia gubernamental y prestar un mejor servicio a la ciudadanía, en particular de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y de la Comisión Chilena de Energía Nuclear.
3. Reducir en un 25% el tiempo de tramitación ambiental de los proyectos que se acojan al Plan +Energía, respecto a los plazos registrados en los últimos cuatro años.
4. Alcanzar cuatro veces la capacidad actual de generación distribuida renovable de pequeña escala (menor a 300 KW) al 2022.
5. Aumentar en al menos 10 veces el número de vehículos eléctricos que circulan en nuestro país.
6. Modernizar la regulación de la distribución eléctrica mediante un proceso participativo, de manera que se permita recoger las nuevas realidades del sector energético y faciliten su implementación, en forma eficiente y competitiva.
7. Regular los biocombustibles sólidos como la leña y sus derivados, otorgando al Ministerio de Energía las atribuciones necesarias para establecer

especificaciones técnicas y el reglamento de aplicación para la comercialización de la leña en zonas urbanas.

8. Establecer un marco regulatorio para la eficiencia energética que genere los incentivos necesarios para promover el uso eficiente de la energía en los sectores de mayor consumo (industria y minería, transporte y edificaciones), y crear una verdadera cultura energética en el país.
9. Iniciar el proceso de descarbonización de la matriz energética a través de la elaboración de un cronograma de retiro o reconversión de centrales a carbón, y la introducción de medidas concretas en electromovilidad.
10. Capacitar a 6.000 operarios, técnicos y profesionales, desarrollando competencias y habilidades en la gestión y uso sostenible de la energía, en el sector eléctrico, de combustibles y de energías renovables, certificando al menos a 3.000.

8.2 Análisis económico

Para el análisis económico, se analizan 14 medidas con altos potenciales de mitigación y que presentan bajo costo, basado en un estudio realizado por la empresa POCH⁷³. Se le da énfasis a las medidas que consideren electrificación como la inclusión de vehículos particulares y taxis debido a la rápida evolución que han experimentado con resultados exitosos, a la disminución de costos y a los lineamientos del gobierno.

Bajo el contexto de costo-beneficio se utiliza la curva de costos marginales de abatimiento (MACC), la que permite comparar los costos y potencial de reducción de emisiones de distintas medidas de mitigación.

Las medidas fueron evaluadas considerando una tasa de descuento del 10%. El detalle de los supuestos utilizados para cada una de las medidas se señala en el Anexo IV de esta tesina. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos.

⁷³ Publicado el 13 de junio 2017

Tabla 8. Resumen de medidas de mitigación actualizadas con una tasa de descuento de un 10%

Medida	Sector	Costos de abatimiento [US\$/tCO ₂ e]	Potencial 2030 [MMtCO ₂]
Recambio de aireadores	CPR ⁷⁴	-365	0,64
Electromovilidad de taxis	Transporte	-357	0,09
Vehículos eléctricos	Transporte	-260	1,61
Iluminación residencial eficiente	CPR	-246	0,81
Implementación de medidas de eficiencia energética para el transporte en minería	Transporte	-106	3,69
Sistema de gestión de la energía	I & M	-105	0,56
Proyectos de autogeneración de energía eléctrica con ERNC en plantas industriales y mineras	I & M	-33	1,01
Energías renovables para usos térmicos en instalaciones nuevas y existentes	I & M	-24	0,18
Transporte de carga ferrocarril para cambio de carga en camiones	Transporte	-10	4,95
ERNC a través de energía solar fotovoltaica	Generación	22	2,92
ERNC a través de mini hidro	Generación	30	2,12
ERNC a través de energía eólica	Generación	33	4,95
ERNC a través de energía geotermia	Generación	54	0,71
ERNC a través de energía termosolar	Generación	73	1,41

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en el estudio generado por POCH

De la tabla se observa que las medidas más favorables corresponden a los sectores de Transporte, Industria & Minería y CPR, siendo las medidas adoptadas en el sector generación menos beneficiosas

Con los valores obtenidos, se construye la gráfica correspondiente a la curva de abatimiento.

8.2.1 Curva de abatimiento - 2030

Una representación de las medidas de mitigación de forma gráfica, se presenta en la curva de costo de abatimiento marginal (MACC, por sus siglas en inglés), la cual

⁷⁴ Comercial, Público, Residencial

es una manera conveniente de mostrar opciones de mitigación y los costos e impactos que estas alternativas pueden representar. Se muestra el costo adicional o marginal de implementar una medida, junto con el potencial de abatimiento con respecto a una línea base. Además, es necesario considerar que estas deben estar centradas en un cierto periodo de tiempo, en este caso se considera el año 2030. Para interpretar una MACC se debe considerar lo siguiente:

- Cada barra mostrada, representa una sola opción de mitigación de GEI.
- El ancho de la barra representa el potencial de abatimiento relativo a la línea base, que corresponde a la proyección de las emisiones sin realizar esfuerzos de mitigación adicionales, en inglés denominado *business as usual* (BAU).
- La altura de cada barra representa el costo de abatimiento de la medida, relativa a la línea base por cada tonelada de emisiones evitada. Por lo general estos costos se muestran en [US\$/tCO₂e].

La suma del ancho de todas las barras permite conocer cuál es el potencial total de abatimiento. Cabe mencionar que estas curvas son estáticas, con lo cual los cortes temporales dificultan entender el impacto de escenarios de mitigación a través del tiempo. Adicionalmente, no considera las interacciones entre los distintos sectores de la economía nacional. Además, no muestran las barreras a la implementación y desincentivos para aquellas medidas costo-eficientes, por lo que un conjunto de medidas puede ser muy costo eficiente pero su implementación difícilmente se lleve a cabo⁷⁵.

En la Figura 26 se muestra la curva marginal de abatimiento considerando aquellas medidas seleccionadas y actualizadas sin incluir el sector forestal.

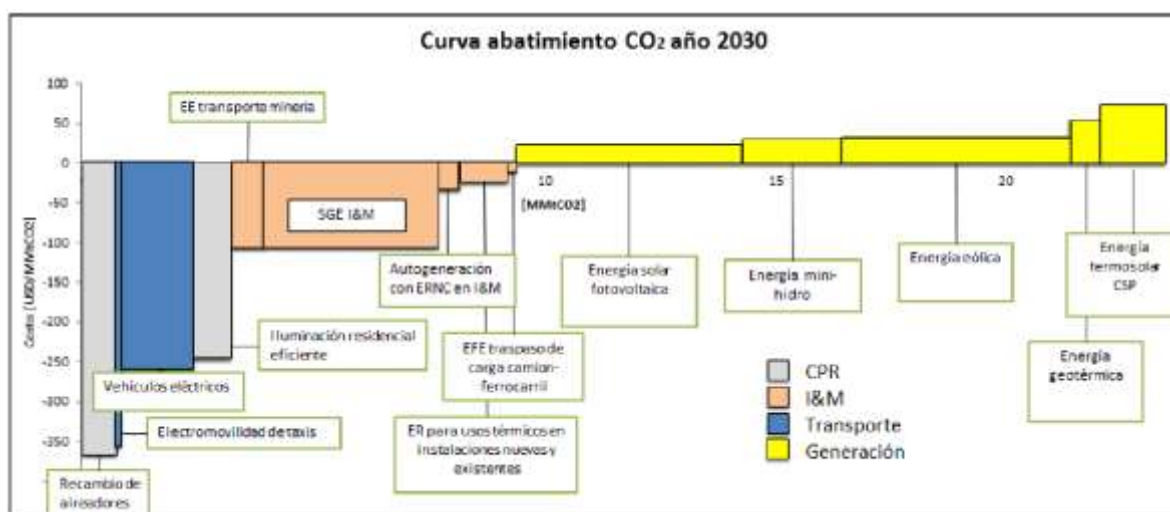


Figura 26. Curva de Abatimiento MMton CO₂e año 2030

⁷⁵ McKinsey & Company, 2013

La interpretación de esta gráfica corresponde a los ahorros de la medida por tonelada de CO₂e reducida. Las medidas que se encuentran al final de la gráfica tienen mayor costo por tonelada de CO₂e reducida.

Al analizar y actualizar un conjunto de medidas de mitigación, se deja en evidencia que existe una gran cantidad de ellas que son costo-eficientes, vale decir, considerando la inversión necesaria para su implementación, la reducción de costos asociada a principalmente disminución del consumo de combustibles en el horizonte temporal 2017-2030 llevado a valor presente, genera un beneficio neto, que hace más atractiva la mitigación de GEI. Generalmente, las medidas del sector transporte, CPR e I&M presentan costos de abatimiento negativos (ahorros) con un alto potencial de mitigación.

Finalmente, se puede visualizar aquellas medidas que debiesen implementarse en primer lugar para cumplir ciertos objetivos de mitigación que permitan generar un beneficio neto. Sin embargo, muchas veces una MACC consiste en opciones técnicas y no necesariamente se evidencian ciertos costos como eliminación de barreras para su implementación. Por tales motivos es necesario trabajar en superar ciertas barreras para cada medida en particular para obtener los beneficios esperados.

8.3 Oportunidades según experiencia internacional

En base a la experiencia internacional que se revisa en este trabajo, se visualiza que las medidas que han tenido resultados positivos corresponden a:

- **Mejoras de los estándares de eficiencia en Plantas térmicas.**

En este sentido, se toma como referencia el caso de China, y se propone fijar, en la norma de emisiones de Centrales termoeléctricas, un consumo específico máximo (0,290 kg/kWh) para nuevas centrales termoeléctricas en base a combustible sólido.

En el caso de centrales termoeléctricas ya existentes, establecer un plan de adaptación y mejoramiento de eficiencia según su año de fabricación y tecnologías de abatimiento disponibles. Dentro de las mejoras de eficiencia, se propone las mejoras operacionales en equipos críticos cómo:

- Optimizar precalentadores de Aire/Sistema de combustión y condensador.
- Reducir las fugas de Vapor
- Aumentar los rendimientos del Sistema de Refrigeración.
- Restauración de la turbina de Vapor.
- Optimización del soplador de ollín.

Para centrales que entran en servicio posterior a 1990 se sugiere:

- Operar en su condición actual hasta el año 2050.
- Adecuarse al estándar de las nuevas centrales en un plazo de 20 años.

Para centrales en que la puesta en marcha sea anterior a 1990, se propone lo siguiente:

- Conversión al estándar de las nuevas centrales en un plazo no mayor a 10 años.
- Conversión a estándar de eficiencia intermedio de 0,320 kg/kWh a plena carga en un plazo de 5 años.
- Efectuar el retiro de la central después de 5 años publicada la norma.

- **EU ETS.**

En base a los antecedentes mencionados en el capítulo anterior, se puede señalar que este sistema de comercio de emisiones, es un sistema probado y que tiene la ventaja que al fijar el límite máximo de emisión por industria, asegurando y obligando a una reducción. Además, considera industrias en general por lo que no se centra sólo en termoeléctricas.

La estabilización de precios resulta clave en la implementación de un sistema de permisos exitoso debido a su volatilidad. La experiencia muestra que un adecuado diseño del sistema se constituye como un elemento fundamental para concretar las ganancias potenciales de eficiencia respecto de los costos.

Referente a la curva de abatimiento, se debe tener especial cuidado que una mala estimación puede generar sobrecostos importantes.

Se visualiza como un sistema de fácil implementación y que ha dado resultados certeros en la Unión Europea.

- **Transporte - Electromovilidad**

En Chile, el sector transporte es responsable de más del 24% de las emisiones de GEI, por lo que tomar acciones en este sector es representativo. La tendencia de la industria automotriz a nivel internacional se basa hace años en la electromovilidad. Países como China, Inglaterra o Dinamarca son pioneras en el transporte eléctrico y ya operan con buses “limpios” en sus ciudades. Según de la Estrategia de Electromovilidad de los 4.853.413 vehículos, el 76% es bencinero y el 24% diésel, solo aparecen 276 eléctricos y 8.096 a gas hasta 2016. Las cifras de autos eficientes son bajas si se considera que en el mundo la electromovilidad es una de las políticas fuertes que se han implementado en otros países para frenar el cambio climático, como Francia, que anunció que al año 2040 no venderá más autos diésel o gasolina.

Establecer nuevas políticas que desalienten el uso del automóvil convencional y

promuevan el uso de autos eléctricos y el transporte público. En Europa, la solidez de las normas sobre emisiones de vehículos y mejoras en la calidad de los combustibles ha reducido significativamente las emisiones relacionadas con el transporte de contaminantes locales de vehículo por kilómetro⁷⁶. Por lo tanto, es posible llegar a establecer reglas más estrictas sobre el uso del automóvil, con la implementación de programas completos de información, concientización, ejecución, supervisión y financiamiento.

Deben establecerse mejores incentivos para el uso del transporte no motorizado, y la adquisición de vehículos con menores emisiones. La expansión y mejora del transporte público sustentable y la promoción de medios de locomoción sencillos como la bicicleta.

Por otro lado, la normativa vigente (Ley 20.052) establece que sólo los vehículos de uso comercial, como taxis, colectivos, furgones, camionetas de empresas, entre otros, pueden optar a utilizar gas como combustible, lo que debiera adaptarse a todo tipo de usuarios.

Se debe formar profesionales para mantenimiento y transformación de vehículos eléctricos. Se puede capacitar a los actuales profesionales y personas que trabajan en talleres y plantas de revisión técnica. Esta opción, abre la oportunidad a que los talleres locales diversifiquen su actividad y estén preparados para atender las demandas del mercado futuro cercano.

8.3.1 Caso estudio Electromovilidad.

El caso estudio corresponde a un análisis de emisiones y costos para el cambio de motor de un vehículo convencional a un motor eléctrico, respecto a un porcentaje de los automóviles que circulan en el país. Esto provocaría menos consumo de combustibles fósiles debido al reemplazo de vehículos convencionales.

Para el análisis de este caso, se consideró como base la cantidad de automóviles que circularon en Chile el año 2017 correspondiente a 5.079.718 de los cuales el 90,7% son vehículos particulares⁷⁷. Como base se considera que año a año el parque automotriz aumenta un 10%. Se considera una tasa de penetración de vehículos eléctricos con cambio de motor para el año 2018 de 0,01% lo que corresponde a 505 vehículos hasta llegar a un 20% para el 2030 correspondiente a 3.167.000 vehículos.

Para el vehículo convencional, se consideró un recorrido anual por vehículo de 20.000 km y un rendimiento 10 km/l⁷⁸ de gasolina. Con estos datos se calculó, las emisiones que se dejarían de emitir⁷⁹ por concepto de gasolina. Para el ítem costos

⁷⁶ EEA, 2010:70

⁷⁷ Instituto Nacional de Estadísticas

⁷⁸ Equivalente a 1,14 km/kWh

⁷⁹ Factor de emisión gasolina 0,2628 Kg CO₂e/kWh

se considera para el auto convencional un costo de mantención de 300.000 CPL dos veces al año y para los costos combustibles un valor de 815 CPL por litro de bencina.

En el caso del vehículo eléctrico se consideró, al igual que el convencional, un recorrido de 20.000 km. Se establece que cada carga utilizada rinde 200 km y que se necesitan 12 horas para cargar 100% las baterías. El rendimiento del vehículo eléctrico es de 5,43 km/kWh⁸⁰, lo que fue considerado para el cálculo de las emisiones de este tipo de vehículos por concepto de carga al sistema nacional. En la Tabla 9 se muestra un resumen de los valores base utilizados.

Tabla 9. Base de datos considerados para caso estudio

Vehículo convencional		Vehículo eléctrico	
Km recorridos año	20.000	Km recorridos año	20.000
Rendimiento km/l	10 (1,14 km/kWh)	Rendimiento km/kWh	5,43
Precio gasolina (CPL)	815	Rendimiento de carga km	200
Costos mantención (CPL)	300.000	Número de cargas año	100
N° mantención año	2	Horas de carga	12
		Precio energía BT1 (CPL/kWh)	100
		Costos mantención (CPL)	20.000
		N° mantención año	2
		Inversión cambio motor	4.500.000

Fuente: Elaboración propia

Para la línea base de las emisiones al 2030, se utilizó la proyección para el sector transporte, utilizada en el plan de mitigación. Y para el cálculo de emisiones del auto eléctrico referido a las cargas necesarias, se consideró un factor de emisión de 0,4499⁸¹ [tCO₂e/MWh] para el sistema eléctrico nacional. En la Figura 27 se muestran los resultados obtenidos.

⁸⁰ Enel

⁸¹ Promedio ponderado de los factores de emisión SIC y SING informados por la CNE para el año 2017.



Figura 27. Emisiones en miles de toneladas de CO₂e para 2 escenarios y costos de inversión y O&M.
Fuente: Elaboración propia

Se observa que existe una disminución de tCO₂e considerable para el año 2030 la cual corresponde a 12.402.000 tCO₂e (37,13%) las cuales se evitarían si se implementase esta medida.

Respecto de los costos, presenta un aumento en los costos de inversión, ya que requiere la adquisición del motor eléctrico y a su vez la mano de obra que realice el cambio de motor. Respecto a los costos de mantenimiento y operación los del vehículo convencional son 80% mayores que los de los autos eléctricos.

Por otro lado, se debe tener en consideración la capacitación de mano de obra para realizar el cambio de motor de los automóviles, además de personal especializado para las mantenciones de las baterías.

Se debe considerar la implementación de cargadores para las baterías de los autos en distintos puntos del país, proponiendo habilitar las estaciones de servicio y además lugares como malls, cines, parques, supermercados, que permitan realizar otras actividades mientras el auto es cargado.

Respecto de la normativa vigente, no existe algo que especifique el cambio de motor de diésel o bencinero a eléctrico, por lo que se requiere realizar una actualización.

Otro punto a considerar son las plantas de revisión técnica, ya que se debe modificar su función agregando otros propósitos referentes a un motor con baterías debido a que podría a largo plazo disminuir la cantidad de vehículos.

Respecto de las baterías, se considera una vida útil de aproximadamente 12 años, y se debe contar con lugares autorizados para la disposición final de éstas cuando su vida útil se haya cumplido.

Finalmente, debido a la implementación de esta medida, el gobierno dejará de percibir tributos asociados a los combustibles por lo que tendrá que buscar alternativas para cumplir este déficit.

9. CONCLUSIONES

El cambio climático es uno de los mayores desafíos a nivel mundial, lo que en su

efecto ha obligado a los países a proponer metas para reducir la concentración de GEI para limitar el aumento de la temperatura terrestre a no más de 2°C, desde la era industrial, en el compromiso de Copenhague. En este contexto, y en relación a los compromisos adquiridos en la COP 21, es que la UNFCCC indica (2016) que éstos son insuficientes. Esto se traduce en que la revisión de los compromisos adquiridos el 2020 tendrá que ser exhaustiva y proponer compromisos nuevos más exigentes que permitan una mayor reducción de GEI.

De las emisiones totales de GEI, el sector energía es el principal contribuyente con un 78,02%, donde la industria eléctrica es el principal emisor dentro del sector. En el Acuerdo París (COP 21) Chile compromete reducir en un 30% la intensidad de emisiones, es decir bajar de 1,02 [tCO₂e/MM\$]⁸² a 0,71 [tCO₂e/MM\$]. Para el caso del sector energía se considera que la intensidad del sector según año 2007 corresponde a 0,75 [tCO₂e/MM\$], por lo que cumplir con la meta de un 30% correspondería a alcanzar una intensidad de 0,52 [tCO₂e/MM\$].

Dentro de las políticas públicas implementadas por el gobierno, se encuentra la norma de emisiones a las centrales termoeléctricas que si bien no establece un límite explícito de emisiones de GEI, constituye un instrumento a través del cual es posible fijar estándares para centrales termoeléctricas que resulten menores en emisiones de GEI.

Una segunda política corresponde a la ley 20/25 (Nº 20.698) de energías renovables no Convencionales donde no se distingue entre distintas tecnologías y cada una tiene requerimientos diferentes para impulsar su desarrollo. Por otro lado, las cuotas que establece la ley no son representativas y pueden duplicarse a fines del 2024. Finalmente, son los generadores los que deciden si compran energía con ERNC o pagan la multa.

Una tercera política corresponde a la Ley 20.780 (Art. 8) basada en los impuestos a las emisiones, que pueden promover la sustitución de productos, cambios en las estructuras de producción de energía y fomentar el ahorro energético, así como la inversión en mejora de la eficiencia energética. Sin embargo, una de las desventajas de este impuesto, que se visualizan en el corto plazo, corresponde al aumento de los precios de los productos relacionados, y por ende los costos de las empresas, debilitando la competitividad de las industrias intensivas en energía limitando el crecimiento económico.

De la experiencia internacional, se infiere que los impuestos al carbono, no es una medida efectiva para la mitigación de GEI, ya que es de difícil contrastación. En varios casos no hay efectos relevantes, ni es posible establecer certeza entre la reducción de emisiones y la existencia del impuesto. En un informe elaborado por el Banco Mundial, se señala que en los países donde se ha logrado reducciones de emisiones de carbono, los esquemas de impuestos al carbono se han complementado con otras medidas como es la fijación de estándares de emisión.

⁸² Base 2011

Del análisis MACC se infiere que las medidas más costo-eficientes corresponden a las asociadas al sector transporte, en las que se encuentra la electromovilidad de taxis y vehículos livianos. Sin embargo, cabe destacar la necesidad de enfocar los esfuerzos para eliminar las barreras a la implementación de las medidas más costo-efectivas, que en su conjunto generarían un beneficio económico neto y permitirían cumplir con los compromisos internacionales al menor costo posible. Además, se debe tener en cuenta que si la curva de abatimiento está mal estimada, puede generar sobre costos importantes, por lo que se puede implantar en forma gradual las medidas tal como se va incrementando la obligación.

Electrificar el transporte y la calefacción en hogares, así como otros usos industriales que pueda tener la electricidad, se torna interesante cumplir con la reducción de GEI. Se observa un punto importante en el transporte, no sólo por fomentar la electrificación masiva de los distintos medios, sino también, por promover un cambio a modos de transporte más sustentables y bajos en emisiones.

Referido al transporte, se realiza un análisis de cambio de motor en un porcentaje de la flota nacional de vehículos particulares, donde se observa que si se alcanza una tasa de penetración de un 20% al 2030, la reducción en emisiones en este sector alcanza un 37,1%. Además, los costos de operación y mantención de esta medida es un 80% inferior a los vehículos eléctricos. Sin embargo, esta medida requiere una inversión adicional para el cambio de motor.

Se debe tener en consideración, que se debe capacitar a los actuales funcionarios de los talleres y generaciones futuras para lograr esta meta. Además, se deben incorporar cargadores eléctricos en zonas como servicentros de fácil acceso.

Respecto de la normativa vigente, referente a los cambios de motores en vehículos convencionales a eléctricos no se señala nada, porque se deben actualizar.

En base a la experiencia internacional se observa que la tendencia a futuro se basa en la mejora de las plantas térmicas con el retiro de unidades muy antiguas e ineficientes, las mejoras operacionales en equipos críticos y la fijación de estándares de eficiencia para plantas nuevas.

Finalmente, el sistema de la Unión Europea EU ETS, es un sistema que tiene la ventaja en que se fija el límite máximo por industria lo que asegura y obliga a una reducción de emisiones de GEI y no se centra sólo en las centrales termoeléctricas.

10. RECOMENDACIONES

Al momento de implementar una medida de mitigación, no sólo se debe considerar el potencial de mitigación y su costo asociado, sino que además los beneficios en empleos, impactos macroeconómicos, impactos en la salud y medio ambiente,

conciencia y aceptación, análisis de barreras a la implementación, factibilidad política e instrumentos políticos adecuados para la entrada de cada una de las opciones.

Fomentar la normativa respecto al desincentivo de la utilización de centrales termoeléctricas reconociendo el valor real de las externalidades negativas que conllevan (daños a la salud y medio ambiente), y finalmente fortalecer aún más la entrada de energías limpias a la matriz energética del país para fomentar la descarbonización.

En base a los impuestos del carbono, la experiencia internacional, demuestra que son de difícil contrastación y que en varios casos no es posible tener una certeza de reducción. Además generan impactos económicos que se traspasan a los consumidores lo que puede repercutir en la eliminación.

Las curvas de abatimiento deben estimarse adecuadamente, ya que de lo contrario pueden existir sobrecostos importantes.

No sólo se debe tener un enfoque en la implementación medidas de mitigación para cumplir con las metas propuestas por el país, sino que se debe realizar un seguimiento año a año de la verificación de las reducciones reales.

Respecto al transporte, la normativa vigente (Ley 20.052) establece que sólo los vehículos de uso comercial, como taxis, colectivos, furgones, camionetas de empresas, entre otros, pueden optar a utilizar gas como combustible, lo que debiera adaptarse a todo tipo de usuarios considerando además cambios de motor de convencional a eléctricos.

Finalmente, la implementación de la electromovilidad con respecto al cambio de motor, el gobierno dejará de percibir tributos asociados a los combustibles por lo que tendrá que buscar alternativas para suplir este déficit.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1 Documentación consultada

- [1] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. Energía 2050, Política Energética de Chile.

- [2] Ministerio de Energía, Gobiernos de Chile, diciembre 2017. “Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero Para el Sector Energía”.
- [3] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 5 diciembre 2016. “Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo”.
- [4] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 17 de agosto 2017. “Taller para Mapa de opciones para un sistema más integral de impuestos al carbono”.
- [5] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2011, Informe Final “Indicadores e índices de sustentabilidad para el sector energía chileno”.
- [6] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 – 2022”.
- [7] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, 2016. “Segundo informe bienal de actualización de Chile sobre el Cambio Climático”.
- [8] Ministerio del medio ambiente, Gobierno de Chile, 2016. “Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.
- [9] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, 12 de Mayo 2017. “Informe del inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero de Chile, Serie 1990 – 2013.
- [10] Juan Núñez, julio 2011, “Estrategia Nacional ante el Cambio Climático”, Universidad Técnica Federico Santa María.
- [11] Generadoras de Chile, junio 2017. “Actualización de la proyección de emisiones 2017-2030 y análisis de medidas de mitigación de CO₂ equivalente”.
- [12] Ley N° 18.502, impuesto específico a los combustibles (art. 1° y 6°).
- [13] Ley N° 20.780 de reforma tributaria (Art. 8°)
- [14] Ley N° 20.257 de ERNC.
- [15] AdaptChile, (2016). Definición de indicadores de cambio climático y del proceso de adaptación.
- [16] Naciones unidas, UNFCCC.

[17] Utility for the future: Executive summary an MIT Energy Initiative Response to an industry in transition. (2016)

[18] Carbon TAX Guide, a Handbook for Policay markers.

[19] World Bank Group, "State and Trends of Carbon Pricing", Octubre 2016

11.2 Sitios Web de Referencia

- Comisión Nacional de Energía: <<https://www.cne.cl/>>
- Ministerio de Medio Ambiente, SNiChile: <www.snichile.cl>
- Banco Mundial: <<https://datos.bancomundial.org/>>
- www.precioalcarbonochile.cl
- www.cambioclimaticochile.cl
- <http://generadoras.cl/>
- <http://climateactiontracker.org/>
- <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/Pages/All.aspx>
- http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_MethodC_hoice.pdf
- http://www.bcentral.cl/documents/20143/32016/bcch_documento_171939_es.pdf/37e2d147-f687-5c0e-164e-600e97fd6715
- <https://www.transparency-partnership.net/system/files/document/Informe%20Final%20Di%C3%A1logo%20NDC%20Quito%202017.pdf>

12. ANEXOS

Anexo I: Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto Invernadero

1. ENERGÍA
1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial)
1.A.1. Industrias de la energía
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción
1.A.3. Transporte
1.A.4. Otros sectores
1.A.5. No especificado
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles
1.B.1. Combustibles sólidos
1.B.2. Petróleo y gas natural
1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía
1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂
1.C.1. Transporte de CO ₂
1.C.2. Inyección y almacenamiento
1.C.3. Otros
2. PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS
2.A. Industria de los minerales
2.B. Industria química
2.C. Industria de los metales
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes
2.E. Industria electrónica
2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
2.G. Manufactura y utilización de otros productos
2.H. Otros
3. AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA
3.A. GANADERÍA
3.A.1. Fermentación entérica
3.A.2. Gestión del estiércol
3.B. Tierras
3.B.1. Tierras forestales
3.B.2. Tierras de cultivo
3.B.3. Pastizales
3.B.4. Humedales
3.B.5. Asentamientos
3.B.6. Otras tierras
3.C. Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ de la tierra
3.C.1. Emisiones no CO ₂ por quema de biomasa
3.C.2. Encalado
3.C.3. Aplicación de urea
3.C.4. Emisiones directas de N ₂ O de suelos gestionados
3.C.5. Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos gestionados
3.C.6. Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol
3.C.7. Cultivo del arroz
3.C.8. Otros (sírvase especificar)
3.D. Otros
3.D.1. Productos de madera recolectada
3.D.2. Otros (sírvase especificar)
4. RESIDUOS
4.A. Disposición de residuos sólidos
4.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos
4.C. Incineración y quema abierta de residuos
4.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales
4.E. Otros
ANX. PARTIDAS INFORMATIVAS
Anx.1. Tanque internacional
Anx.1.a. Aviación internacional
Anx.1.b. Navegación internacional
Anx.2. Operaciones multilaterales
Anx.3. Emisiones de CO ₂ de la biomasa

Figura 28. Categorías de fuente y sumidero de GEI

Fuente: Segundo informe bienal, 2016

Anexo II: Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto Invernadero

Sector	Paquete	Medidas propuestas
GENERACIÓN	Aumentar la participación de las energías renovables	Incrementar la flexibilidad del sistema eléctrico (incluyendo la interconexión regional).
		Plataformas de información pública sobre energías renovables en Chile.
		Regulación para el ordenamiento territorial que apoye el proceso de instalación de las distintas fuentes renovables, en concordancia con la Política Nacional de Ordenamiento Territorial y la metodología que se defina para elaborar los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial.
		Política de ciencia, tecnología e innovación en energía.
		Desarrollo de proyectos de tecnologías emergentes.
	Aumentar la eficiencia del sistema de generación y el uso de combustibles de bajas emisiones	Crear o modificar instrumentos (p. ej. normas de emisión) que reduzcan las emisiones del parque termoeléctrico.
		Fomento a las medidas de eficiencia energética en centrales termoeléctricas.
		Monitoreo de la construcción de infraestructura de terminales a gas.
	Apoyo a la implementación de tecnologías bajas en carbono	Generación de información relevante para implementación de sistemas de Captura, Almacenamiento y Utilización del CO ₂ (CCSU).
		Generación de información relevante para otros sistemas bajos en emisiones de GEI (gas, hidrógeno u otros).
	Apoyo transversal al desarrollo de los objetivos anteriores	Implementación de mecanismos de precio al carbono y otras herramientas.
		Mitigación de riesgos por emisiones por incendios provocados por tendidos eléctricos.

Figura 29. Paquetes de medidas del Sector Generación.

Fuente: Plan mitigación GEI sector energía.

Sector	Paquetes	Medidas propuestas
TRANSPORTE	Impulso al mercado de medios de transporte de bajas emisiones	Búsqueda de apoyo financiero para aumentar la participación de buses híbridos y eléctricos en el transporte público.
		Búsqueda de apoyo financiero para la compra de vehículos híbridos o eléctricos, particulares y taxis colectivos.
		Búsqueda de apoyo financiero para la compra de camiones livianos y medianos, híbridos o eléctricos.
		Búsqueda de apoyo financiero para el desarrollo de la infraestructura necesaria (ej. Redes de carga eléctrica).
		Búsqueda de apoyo financiero para incentivar mejoras tecnológicas en el transporte aéreo/marítimo.
	Recambio tecnológico del transporte público	Licitaciones en el transporte público con obligación de participación de transporte público de bajas emisiones.
		Regulación para obligación de participación de taxis y colectivos de bajas emisiones.
	Inversión en modos eficientes	Aumentar infraestructura de transporte ferroviario interurbano bajo esquemas público privados.
		Inversión en trenes urbanos (por ejemplo el metro).
		Expansión de la infraestructura para bicicletas y buses urbanos (Vías exclusivas).
	Políticas de apoyo	Planificación Urbana para la movilidad urbana sostenible, que disminuya la demanda de transporte y fomente el uso de modos colectivos o no motorizados.
		Implementar sistemas pilotos para mejorar gestión del transporte (<i>carpooling</i>).
		Implementación de sistemas de información, comunicación y coordinación para los sistemas de transporte.
		Instrumentos que desincentiven modos más ineficientes (zona verde, tasa de congestión, entre otros).
	Aumentar los estándares de eficiencia energética	Estándares de rendimiento medio para vehículos (Marco Regulatorio de EE).
		Instalación de kits aerodinámicos en el transporte de carga interurbano, validados con NCH N° 3331.
		Etiquetado de consumo energético.
		Participar en acuerdos internacionales de EE.
		Desarrollo de plataforma para mejorar tasa de ocupación, gestión horaria y adecuación modal en transporte de carga urbano.

Figura 30. Paquetes de medidas del Sector Transporte.

Fuente: Plan mitigación GEI sector energía.

Sector	Paquete	Medidas propuestas
INDUSTRIA Y MINERÍA	Eficiencia Energética en la Industria y Minería	Regulación para Estándar Mínimo de Eficiencia (MEPS) en motores eléctricos de potencia menores a 10HP.
		Regulación para Estándar Mínimo de Eficiencia (MEPS) en motores eléctricos de potencia entre 10HP y 100HP.
		Sistema de Gestión de la Energía Obligatorio para Grandes Consumidores de Energía (Marco Regulatorio de EE).
		Nuevo marco regulatorio en la distribución eléctrica para inversión en proyectos de EE (Desacople/Certificados blancos).
		Regulación para establecer Estándares Mínimos de Eficiencia (MEPS) para equipos de uso industrial y minero (ej. Calderas, Hornos, Camiones Mineros, etc.).
		Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020 (PAEE).
		Nuevo marco regulatorio para la inversión en proyectos de EE (escalamiento a otros sectores, con certificados blancos).
		Desarrollo del mercado de Empresas de Servicios Energéticos o ESCO (PYME).
		Búsqueda de apoyo financiero para escalamiento de programas de EE.
	Incrementar el Uso de Tecnologías de Bajas Emisiones	Búsqueda de apoyo financiero para el uso de Energía Solar en procesos térmicos en la Industria y Minería.
		Desarrollo del autoconsumo con energías renovables no convencionales, a través de la generación de políticas, programas y proyectos.
		Búsqueda de apoyo financiero para el Uso de Biomasa en vez de Carbón en procesos térmicos en la Industria y Minería.
		Búsqueda de apoyo financiero para uso de Biogás o Gas Natural en vez de Petróleo Diésel o Petróleo Combustible en procesos térmicos en la Industria y Minería (cambio de quemadores).
		Búsqueda de apoyo financiero para uso de Electricidad en vez de Combustibles fósiles en procesos motrices y térmicos en la Industria y Minería (electrificación de procesos).
		Búsqueda de apoyo financiero para el uso de Hidrógeno en procesos térmicos en la Industria y Minería.
	Apoyo a la implementación de tecnologías bajas en carbono	Preparación para la instalación de sistemas de tecnologías bajas en carbono (por ejemplo, sistemas CCSU en la industria del cemento, recuperación de calor, entre otros).

Figura 31. Paquetes de medidas del Sector Industria y Minería.

Fuente: Plan mitigación GEI sector energía

Sector	Paquetes	Medidas propuestas
COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL	Eficiencia Energética en el sector CPR	Continuación de subsidios para reacondicionamiento térmico residencial para familias vulnerables (Programa de protección patrimonio familiar, PPPF)
		Elaboración de plan entre los ministerios de Energía, Hacienda y Vivienda y Urbanismo que permita ampliar la cobertura de los programas de reacondicionamiento térmico a la población de sectores medios.
		Búsqueda de apoyo financiero para reacondicionamiento térmico residencial (ampliar segmento de la población a la clase media).
		Nuevo marco regulatorio en la distribución eléctrica para inversión en proyectos de EE (Desacople/Certificados blancos).
		Sistema inteligente de producción y gestión descentralizada de la energía y reducir las emisiones del sector generación, mediante cambio de curva de carga.
		Implementar sistemas de información, capacitación.
	Regulaciones y estándares	Regulación - MEPS en motores eléctricos.
		Regulación para la calificación energética obligatoria de viviendas nuevas y existentes.
		Actualización de la normativa térmica de viviendas (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, OGUC).
		Regulación - MEPS en principales equipos eléctricos de uso doméstico: aire acondicionado, refrigeradores, ampolletas, tubos fluorescentes, secadoras de ropa, lava vajilla, lavadoras, calefactores eléctricos de agua, etc.
		Regulación para ampliar el etiquetado de equipos eléctricos de uso doméstico: secadoras de ropa, lava vajilla, lavadoras, calefactores eléctricos de agua, etc.
	Incrementar el uso de sistemas de bajas emisiones	Regulación e instrumentos financieros para fomentar el uso de leña seca.
		Desarrollo del autoconsumo con energías renovables no convencionales, a través de la generación de políticas, programas y proyectos.
		Búsqueda de apoyo financiero para la promoción de la electrificación en el sector residencial (sistemas térmicos).
		Continuación de la franquicia tributaria para la instalación de sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria (periodo acotado).
		Implementación de subsidios a vivienda social nueva (ACS).
	Liderar con el ejemplo programa del sector público	Continuación del Programa comuna energética.
		Continuar la inversión para mejoras de EE en edificios públicos (Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos, PEEEP).
		Inversión para mejoras de EE en hospitales.
		Continuación de programa de recambio de luminarias públicas.
		Continuación del Programa de Techos Solares Públicos.

Figura 32. Paquetes de medidas del Sector Comercial,Público,Residencial.
Fuente: Plan mitigación GEI sector energía

Anexo III: Principales supuesto de simulación considerados en el plan.

Datos Principales	2030	
Crecimiento Económico Promedio	3% promedio (real)	
Población	19,8 millones	
Precio del Carbón	86,8 USD/ton	
Precio del Petróleo	116 USD/bbl	
Precio del Gas	12,4 USD/MMBtu	
Tecnologías de generación Costos de inversión ¹⁸	2017	2030
Carbón	4.050 USD/kW	3.940 USD/kW
Gas CC	1.040 USD/kW	980 USD/kW
Eólico	1.690 USD/kW	1.560 USD/kW
Solar PV	1.745 USD/kW	1.040 USD/kW
Central Pasada	5.693 USD/kW	5.500 USD/kW
Solar CSP	7.072 USD/kW	3.670 USD/kW

Figura 33. Principales supuestos de simulación.

Fuente: Plan mitigación GEI sector energía

A modo de información se indica en el plan que para la estimación de los precios de las tecnologías se utilizó la información de “National Renewable Energy Laboratory (NRELL).

Anexo IV: Supuestos utilizados para cada medida en la evaluación económica.

Tabla 10. Principales supuestos utilizados para la evaluación económica.

Medida	Supuestos
Recambio de aireadores (duchas)	- Se considera un 5% de aireadores de manera natural en viviendas para el año 2030 (línea base). - Se alcanzará al año 2030 un 50% de aireadores. - Línea base: cada vivienda tiene 2,6 habitantes los que se duchan todos los días durante 5 minutos. - Costo de reemplazo por ducha de 40 USD. - Consumo de combustible GLP (80%) y GN (20%). - Chayas tradicionales → 9,4 L/min - Chayas con aireadores: → 5,7 L/min - Calor requerido para elevar T° de 10 a 40°C con calefón de 80%de eficiencia → 32.500 Kcal/m³ - Se considera un 80% de GLP y 20% GN.

Electromovilidad de taxis	- La implementación comienza a partir del año 2019 - Se considera una tasa de reemplazo de 11,5% con un total de 10.809 vehículos. - Recorrido anual por vehículo: 50.000 km. - Rendimiento taxi convencional 11 km/L de gasolina equivalente a 1,25 km/kWh. - Rendimiento taxi eléctrico 5,5 km/KWh. - Costo operacional estimado en base a la proyección de la gasolina y la de la tarifa de suministro BT1. - Se asume que al año 2022 se equipara el valor del vehículo eléctrico con el convencional. - 2019 inversión de 100 nuevos cargadores y 200 al año 2029.
Vehículos eléctricos	- Se alcanzará un nivel de penetración de 11,7% del parque total de vehículos al 2030 correspondiente a (773.031 vehículos eléctricos) - Recorrido anual por vehículo de 11.455 km - Rendimiento vehículo convencional 11 km/L de gasolina equivalente a 1,25 km/kWh. - Rendimiento vehículo eléctrico 5,5 km/KWh. - Costo operacionales estimado en base a la proyección de la gasolina y la de la tarifa BT1. - Se consideran 600 nuevos cargadores - Se asume que al año 2022 se equipara el valor del vehículo eléctrico con el convencional.
Iluminación residencial eficiente	- Se considera que la utilización de ampolletas ineficientes el 2017 es de 42% llegando a un 28% al año 2030 - Ampolletas LED alcanzan un 41% al año 2030. - Precio de ampolletas LED decrecen en un 20% por año. - Se consideraron 13,2 ampolletas por vivienda para la línea base, con un uso diario de 6 horas. - Potencia instalada de ampolletas ineficientes 62 W y LFC 20W. - Para calcular el ahorro se utilizó una tarifa BT1
Implementación de medidas de eficiencia energética para el transporte en minería	- Se considera un nivel de penetración de un 3% anual para las medidas blandas y un 4% anual para medidas de utilización de motores híbridos, alcanzando un 42% y un 56% al año 2030 respectivamente. - Línea base considera un 80% del consumo total de diésel en la minería. El ahorro estimado debido a la implementación de las medidas blandas es de un 6%. - Conversión a motores híbridos con un 25% de consumo de Diésel y un 75% de Gas Natural Licuado. - Los costos se calculan en base al precio del Gas Natural Licuado y diésel. - Inversión en la implementación de las medidas blandas es de 311.447 USD/TCal de ahorro - Inversión para la conversión a camiones híbridos es de 800 USD/camión.

	- El número de camiones convertidos se estiman en base a un consumo unitario por camión de 20,43 USD/año.
Sistema de gestión de la energía	- Se considera que la penetración de la medida varía de un 1% en el 2017 hasta alcanzar un 84% al año 2030. - El ahorro de energía se realiza en base a un supuesto de 1,67% de ahorro anual los 3 primeros años de implementación y un 1,61% anual a partir del tercer año. - Los costos operacionales se estiman en base a los precios de combustibles y electricidad proyectados en base a tasas de crecimiento estimadas con proyecciones de la CNE. - La inversión en la implementación de un SGE se estimó en 196.507 USD/Tcal ahorrada.
Proyectos de autogeneración de energía eléctrica con ERNC en plantas industriales y mineras	- Tasa de penetración de la medida es de un 2,5% anual - 81% de la industria minera y un 46% en otras Industrias. - Escenario de participación de ERNC que llega a un 39% al año 2030 y que un 54% del total de ERNC corresponde a las tecnologías aplicables bajo el escenario de la medida, a saber: energía eólica, biomasa y solar FV. - La participación por tecnología considerada en la implementación de autogeneración con ERNC en la Industria es de un 25% solar FV, 44% eólica y 31% biomasa. En minería se consideró un 67% de solar FV y 33% eólica. - El cálculo de los costos considera el ahorro de energía eléctrica de la red (con sus respectivos precios de electricidad) y los costos de operación y mantención de las plantas de autogeneración. - La inversión considera la instalación de la capacidad de autogeneración requerida para satisfacer la demanda de energía desplazada.
Energías renovables para usos térmicos en instalaciones nuevas y existentes	- Tasa de penetración de 4% - potencial de reemplazo de energía para usos térmicos corresponde a un total de 4.087 Tcal al año 2017, con lo cual se estimaron los porcentajes de ahorro de combustibles para usos térmicos sobre el consumo total de energía. - La inversión y costos operativos de la medida se estimaron en base a la capacidad instalada requerida para satisfacer una demanda equivalente al reemplazo del consumo de combustibles fósiles para usos térmicos por ERNC, asumiendo una participación de un 30% de energía solar térmica y un 70% de biomasa
Transporte de carga ferrocarril para cambio de carga en camiones	- El total de toneladas-km transportadas en camiones serán transportadas en el modo ferroviario a partir del año 2017. - Factor de emisión de 118 gCO₂/Ton-Km asociado al transporte de carga en camión y un factor de 28 gCO₂/Ton-Km para el modo ferroviario. El valor en Ton-Km transferido de camiones a trenes se estimó en base a la información reportada

	anualmente del beneficio por transferencia de carga camión a tren (en \$MM) y el beneficio neto unitario (19,9 \$/Ton-km). - Para el análisis se utilizó el informe “ANÁLISIS, PRIORIZACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIAL A NIVEL DE PERFIL DE PROYECTOS FERROVIARIOS DE CARGA EN RED EFE”, de la Subsecretaría de Transporte
ERNC a través de energía solar fotovoltaica	- Se considera la instalación de 2.209 [MW] de centrales fotovoltaicas acumulados al año 2030, implementados de forma gradual desde el año 2020. - 35% de la nueva capacidad ERNC instalada en el país proviene de energía solar fotovoltaica, - Costo inversión: 1200 US\$/kW, - Costo variable: 1 US\$/MWh, - Costo fijo: 18 USD/kW. - Factor de planta: 27% - Reducción de costos al desplazar tecnología a carbón, sólo por concepto de costo variable, el cual se considera de 42 US\$/MWh.
ERNC a través de mini hidro	- Instalación de 426 [MW] de centrales mini hidroeléctricas acumulado al año 2030, implementados dos proyectos entrando el año 2021 y el otro el 2026. - Costo inversión: 3250 US\$/kW, - Costo variable: 3 USD/MWh, - Costo fijo: 33 USD/kW. - Factor de planta: 60%. - Plazo de referencia para la construcción de 3 años. - Reducción de costos al desplazar tecnología a carbón, sólo por concepto de costo variable, el cual se considera de 42 US\$/MWh.
ERNC a través de energía eólica	- Instalación de 1.808 [MW] de centrales eólicas acumulado al año 2030, implementados de forma gradual desde el año 2020. - 35% de la nueva capacidad ERNC instalada en el país proviene de energía eólica desplazando las en base a carbón. - Costo inversión: 1800 USD/kW, - Costo variable: 8 USD/MWh, - Costo fijo: 36 USD/kW. - Factor de planta: 33%. - Plazo de referencia para la construcción de 2 años. - Reducción de costos al desplazar tecnología a carbón, sólo por concepto de costo variable, el cual se considera de 42 USD/MWh.
ERNC a través de energía geotermia	- Instalación de 95 [MW] de centrales geotérmicas acumulado al año 2030, implementados dos proyectos entrando el año 2021 y el otro el 2026. - 5% de la nueva capacidad ERNC instalada en el país proviene de energía geotermia desplazando las en base a carbón. - Costo inversión: 7800 USD/kW,

	- Costo variable: 2 USD/MWh, - Costo fijo: 171 USD/kW. - Factor de planta: 90%. - Plazo de referencia para la construcción de 4 años. - Reducción de costos al desplazar tecnología a carbón, sólo por concepto de costo variable, el cual se considera de 42 USD/MWh.
ERNC a través de energía termosolar	- Instalación de 213 [MW] de centrales CPS acumulado al año 2030, implementados 4 proyectos entrando el año 2021, 2023, 2025 y 2027. - 10% de la nueva capacidad ERNC instalada en el país proviene de energía termosolar desplazando las en base a carbón. - Costo inversión: 9000 US\$/kW, - Costo variable: 1 USD/MWh, - Costo fijo: 90 USD/kW. - Factor de planta: 80%. - Plazo de referencia para la construcción de 4 años. - Reducción de costos al desplazar tecnología a carbón, sólo por concepto de costo variable, el cual se considera de 42 US\$/MWh.

Fuente: Elaboración propia a partir de informe actualización de emisiones 2017-2030 y análisis de las medidas de mitigación, POCH, junio 2017.

Anexo V: Supuestos utilizados para caso de electromovilidad.

Tabla 11. Resultados obtenidos a partir de supuestos.

Año	Vehículos totales	Tasa penetración	Km recorridos	Consumo gasolina L	Ton CO2e
2017	4.586.985	0,00%			
2018	5.045.684	0,01%	10.091.368	1.009.137	2.811
2019	5.550.252	0,03%	33.301.514	3.330.151	9.277
2020	6.105.278	0,1%	122.105.550	12.210.555	34.015
2021	6.715.805	1,0%	1.343.161.051	134.316.105	374.162
2022	7.387.386	2,0%	2.954.954.313	295.495.431	823.156
2023	8.126.124	3,0%	4.875.674.616	487.567.462	1.358.207
2024	8.938.737	4,0%	7.150.989.437	715.098.944	1.992.037
2025	9.832.610	5,0%	9.832.610.476	983.261.048	2.739.051
2026	10.815.872	7,0%	15.142.220.134	1.514.222.013	4.218.138
2027	11.897.459	10,0%	23.794.917.353	2.379.491.735	6.628.503
2028	13.087.205	14,0%	36.644.172.724	3.664.417.272	10.207.894
2029	14.395.925	17,0%	48.946.144.995	4.894.614.500	13.634.830
2030	15.835.517	20,0%	63.342.069.994	6.334.206.999	17.645.074

Fuente: Elaboración propia