



TESIS DOCTORAL

**Sumideros naturales de CO₂-eq y
sistemas de calefacción/refrigeración con
tecnologías renovables en la transición
chilena a una economía neutra en
emisiones.**

Roberto Adrián Moreno García

Tesis presentada en cumplimiento parcial para el grado de Doctor en el Programa de Doctorado en Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales Universidad de Sevilla

Directores:

Dr. José Manuel Cansino Muñoz-Repiso

Dra. Rocio Román Collado

2020

INDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	5
Agradecimientos.....	9
Capítulo 1: Introducción	10
Capítulo 2: Objetivos.....	17
Capítulo 3: Resultados y Discusión	18
<i>3.1. ¿Es importante el bosque con respecto a los compromisos internacionales de reducción de CO₂ en Chile? Un enfoque de descomposición multinivel</i>	<i>18</i>
3.1.1. Introducción	18
3.1.2. Metodología	21
3.1.3. Resultados	31
3.1.4.- Discusión	39
3.1.5.- Conclusiones y recomendaciones para futuras políticas	41
<i>3.2. Salud y calefacción en la ciudad de Temuco (Chile). Análisis de costos y beneficios de reemplazar la biomasa con el sistema FV en el sector residencial.....</i>	<i>44</i>
3.2.1. Introducción	44
3.2.2. Metodología	47
3.2.3. Resultados	59
3.2.4. Conclusiones y recomendaciones de política	66
Capítulo 4: Conclusiones.....	69
Capítulo 5: Referencias	73
ANEXOS.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de factores de descomposición 1991-2013.....	32
Tabla 2. Análisis de desacoplamiento de Tapio.....	34
Tabla 3. Análisis de desacoplamiento de segundo nivel.....	37
Tabla 4. Sistema de almacenamiento FV + estándar.	48
Tabla 5: Tasa de reducción de emisiones de CO ₂ y partículas en el ambiente (%) a diferentes DGC.....	62
Tabla 6: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + sin LCA. Criterios VSL Masculinos y femeninos. (USD 2013).	63
Tabla 7: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + sin LCA, criterios ECH, hombres y mujeres (USD 2013).....	64
Tabla 8: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + con LCA, VVE y ECH, hombres y mujeres (USD 2013).....	64
Tabla 9: Ahorro en accidentes de tráfico debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + (USD 2013).....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resultados LDMI	33
Figura 2. Superficie de incendios forestales (Has) v/s emisiones de CO _{2eq} (Gg) 1991-2013.....	39
Figura 3. Sustitución de estufas de leña por un sistema fotovoltaico (FV) para la generación de electricidad utilizando sistema de baterías de almacenamiento (FV + almacenamiento).....	46
Figura 4. Secuencia principal de pasos metodológicos.	57
Figura 5. Consumo de leña y población.	58

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Emisiones chilenas totales de CO ₂ -eq (Gg) por sector, 1990–2013.....	85
Anexo 2.	Emisiones de actividades de UTCUTS por subsectores principales. CO ₂ -eq Gg, 1990-2013.....	86
Anexo 3.	Sectoral values for Yp decomposition factor. CO ₂ -eq emissions (Gg).	87
Anexo 4.	Valores sectoriales para el factor de descomposición de P. Emisiones de CO ₂ -eq (Gg).	88
Anexo 5.	Valores sectoriales para el factor de descomposición de EI. Emisiones de CO ₂ -eq (Gg).....	89
Anexo 6.	Valores sectoriales para el factor de descomposición de CI. Emisiones de CO ₂ -eq (Gg).....	90
Anexo 7.	Valores sectoriales para el factor de descomposición de P. Emisiones de CO ₂ -eq (Gg).....	91
Anexo 8.	Valores sectoriales para el factor de descomposición de ES. Emisiones de CO ₂ -eq (Gg).....	92
Anexo 9.	Análisis de desacoplamiento de segundo nivel a nivel sectorial.	93
Anexo 10.	Radiación global en Temuco. W / m ² . Promedio 2004–2016.....	94
Anexo 11.	Sombra por topografía en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin sombra; 1 = sombra.	95
Anexo 12.	Presencia de nubes en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin nubes; 1 = nubes. Presencia de nubes en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin nubes; 1 = nubes.	96
Anexo 13.	Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en los hombres siguiendo los criterios de VVE. Año 2013.....	97
Anexo 14.	Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en las mujeres siguiendo los criterios de VVE. Año 2013.....	98
Anexo 15.	Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en los hombres siguiendo los criterios de ECH. Año 2013.....	99
Anexo 16.	Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y de la contaminación atmosférica de los combustibles fósiles en las mujeres, siguiendo los criterios de ECH. Año 2013.....	100
Anexo 17.	Costos monetarios de accidentes de tránsito causados por partículas ambientales en Temuco.....	101
Anexo 18.	Emisiones totales y emisiones no fijadas debido a la combustión de leña por hogar en Temuco.....	102

GLOSARIO

CONCEPTOS

Biomasa: La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente

Objetivos de Desarrollo Sostenible: Son objetivos globales establecidos el 25 de septiembre de 2015 por la ONU, para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.

Energías renovables no convencionales: Son fuentes de generación energéticas que incurren en el consumo o agotamiento de su fuente generadora. Entre estas fuentes están la energía hidráulica, energía solar, energía eólica y la mareomotriz.

Gases de efecto invernadero: Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases que forman parte de la atmósfera natural y antropogénica (emitidos por la actividad humana), cuya presencia contribuye al efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero directo que se estiman en el Inventario son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Sistemas Fotovoltaico: Un sistema fotovoltaico es el conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

GDB Compare: Herramienta interactiva "GDB Compare" que permite calcular el impacto de la contaminación en la salud, tanto en términos de muertes atribuibles como de años de vida ajustados por pérdida en calidad de vida, desarrollado por el Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud.

UNIDADES DE MEDIDAS, INDICADORES.

Años de vida ajustados por discapacidad: Indicador sintético de salud utilizado para medir la carga de enfermedad a nivel poblacional, proporciona información de las consecuencias mortales y no mortales de las enfermedades, lesiones y factores de riesgo. Este indicador, se interpreta como el número de años de vida sana perdidos, se utiliza para describir la situación epidemiológica en distintos países o regiones y para estimar el impacto poblacional de diferentes intervenciones

CO₂-eq: Unidad basada en el potencial de calentamiento global de diferentes gases de efecto invernadero. La unidad de CO_{2eq} mide el impacto ambiental de una tonelada de estos gases de efecto invernadero en comparación con el impacto de una tonelada de CO₂.

Día de grados de calefacción: Mide el número promedio de días que la temperatura cae por debajo de un valor definido en el cual se hace necesario utilizar los sistemas de calefacción para mantener temperaturas promedio de 21°C.

Horas de radiación solar pico: Unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m². Una hora solar pico equivale a 1 kWh/m².

Humedad base seca (Hbs): Parámetro de medición que indica la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca.

MP: Material particulado es una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico.

MP 10: Partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general, 10 micrómetros y menores;

MP 2,5: Partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores.

PIB: Producto interno bruto, indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un país o región en un determinado periodo de tiempo, normalmente un año.

Profundidad descarga de baterías: Porcentaje mínimo de carga de la batería para alargar la vida útil de una batería solar indicado por el fabricante del dispositivo.

Valor de la vida estadística: Medida del costo de mortalidad derivado de la agregación de la voluntad individual de pago en una sociedad. Tiene en cuenta el número de muertes atribuibles a un factor de riesgo.

Volts: Unidad de tensión eléctrica, potencial eléctrico y fuerza electromotriz del sistema internacional de unidades, de símbolo V, que equivale a la diferencia de potencial entre dos puntos de un hilo conductor que transporta una corriente de intensidad de 1 ampere cuando se disipa una potencia de 1 watt.

Watts: Medida utilizada para representar la potencia eléctrica y establece a qué velocidad puede transformarse la energía eléctrica. Esta unidad, aceptada en el sistema internacional de unidades en 1889 es representada con el símbolo W y equivale a 1 Joule por segundo (1J/s)

Resumen

El Cambio Climático (CC) es uno de los grandes desafíos actuales de la humanidad. Es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible, siendo el origen de importantes impactos económicos, sociales y ambientales. En este contexto, varios países han asumido compromisos para un desarrollo sostenible relacionados con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización para las Naciones Unidas (ONU).

En el mismo sentido, los países han asumido la necesidad de generar y exigir normas de producción sostenible y otras acciones orientadas todas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Parte central de estas actuaciones promueven cambios tecnológicos orientados a alcanzar una mayor eficiencia energética.

Chile no ha quedado ajeno a los procesos mencionados y busca contribuir activamente a la mitigación de emisiones de GEI y a la lucha contra el CC. Para ello ha desarrollado políticas y acciones entre las que destacan: mantener un registro actualizado y periódico de emisiones de GEI por sector productivo, fomentar el cambio de recursos energéticos convencionales y contaminantes hacia el uso de energías renovables no convencionales (ERNC), la reforestación y restauración de bosques, entre otras actividades.

Para el positivo desarrollo y resultado de estas políticas y acciones señaladas, aún permanecen numerosas cuestiones no resueltas. Las investigaciones realizadas en el marco de la presente tesis contribuyen a avanzar en este camino compartiendo el objetivo general de desarrollar un análisis económico a distintas escalas de la reducción de la contaminación identificando los factores inductores e inhibidores de la misma así como el uso de nuevas tecnologías energéticas para la calefacción y refrigeración del sector residencial en Chile. Todo ello orientado a favorecer un desarrollo económico sostenible.

Dos son las investigaciones centrales a modo de pilares de esta tesis doctoral.

El primer trabajo tiene como objetivo evaluar los aportes mitigadores o contaminantes de los sectores productivos de Chile para el periodo 1990 a 2013, con un énfasis especial en identificar el papel del sector forestal en esta ecuación. Esto responde al hecho de que el sector

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

se considera como una variable proxy de las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Junto con ello también calcula los pesos y el papel de cada uno de estos sectores así como de otros factores de descomposición económica, energética y demográfica.

Para esta primera investigación se llevó a cabo una evaluación económica a partir de un análisis de descomposición del cambio en las emisiones chilenas de GEI así como un análisis del nivel de desacoplamiento entre el crecimiento económico y estas emisiones. Especial énfasis se puso en identificar el papel que juega el sector forestal en la mitigación de las emisiones de GEI. La investigación permitió cuantificar los efectos positivos y negativos de diferentes acciones llevadas a cabo por distintos sectores productivos nacionales orientadas a reducir su contribución a las emisiones de GEI.

Para abordar los objetivos anteriores se ha utilizado el método LMDI (análisis de descomposición) y el índice Tapio (análisis de desacoplamiento) para los siete sectores más relevantes de la economía chilena. A partir del índice de Tapio un segundo nivel de descomposición fue conducido. Los principales hallazgos del análisis LMDI y el análisis de desacoplamiento de segundo nivel revelan que el sector forestal de Chile ha actuado claramente como un factor inhibidor o sumidero importante para la mitigación de GEI en el país. Sin embargo no alcanza a equilibrar por sí solo la acción como “drivers” del resto de sectores tomados en consideración. Adicionalmente se obtiene que el cambio de matriz energética en los diferentes sectores hacia una matriz menos intensiva en emisiones de GEI aún es insuficiente para lograr una la mitigación importante.

Los resultados también muestran que Chile no ha logrado alcanzar el desacoplamiento entre el crecimiento económico y emisiones de CO_{2-eq}. Los esfuerzos realizados en el sector forestal para reducir las emisiones de CO₂ fueron interesantes pero no lo suficientemente fuertes como para facilitar el desacoplamiento.

Estos resultados permiten realizar una serie de recomendaciones. Particularmente se recomienda fortalecer las políticas y las acciones de gestión forestal, especialmente del bosque nativo cuya superficie supera los 13 millones de hectáreas. Esta recomendación incluye incentivar la forestación, reforestación y restauración, además de trabajar de manera más intensa en el cambio de los usos energéticos del resto de sectores productivos. Los esfuerzos deben ser especialmente decididos en el sector del transporte.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

El segundo pilar de esta tesis doctoral descansa en una investigación a escala local en la ciudad de Temuco perteneciente a la región de La Araucanía. La ciudad de Temuco tiene un alto uso de leña para calefacción que alcanza al 80% de los hogares. También es una ciudad que ha sido declarada zona saturada de partículas MP 10 y 2,5.

Esta segunda investigación desarrolló una evaluación económica de los beneficios derivados de la implementación de nuevas tecnologías para la utilización de energía limpia en las viviendas de 51 y 70 m² (las más comunes en la ciudad). Específicamente la tecnología evaluada fueron sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica con almacenamiento en baterías. Especial énfasis se puso en la valoración económica de las externalidades positivas que se producen al aplicarla.

Las externalidades valoradas consistieron en la reducción de las patologías sanitarias como consecuencia de la menor emisión de CO₂ y de partículas en suspensión tras el reemplazo de los sistemas de calefacción basados en el uso de biomasa por sistemas de calefacción basados en paneles solares fotovoltaicas.

En este sentido se calculó la reducción del valor monetario del impacto de las emisiones contaminantes resultantes de la combustión de leña, sobre la salud y los accidentes de tránsito. Para ello se utilizó la herramienta interactiva "GDB Compare" que permite calcular el impacto de la contaminación en la salud, tanto en términos de muertes atribuibles como de años de vida ajustados por pérdida en calidad de vida.

El valor monetario del impacto en la salud se ha calculado utilizando dos enfoques alternativos; el valor de la vida estadística y el enfoque del capital humano. Para identificar los requisitos de uso de leña se ha usado la variable días que requieren calefacción (DGC) para temperaturas ≤ 15 ° C y ≤ 18 ° C. Esto permitió un análisis de sensibilidad.

Los cálculos de emisiones evitadas se refinaron para incluir las emisiones asociadas con la fabricación y el transporte de sistemas fotovoltaicos a través del análisis del ciclo de vida. Para todos los escenarios, los principales resultados muestran que los ahorros superan los costes. Por tanto, existe un efecto positivo del cambio en el sistema de calefacción que reduce el impacto de la contaminación en la salud por parte de fuentes energéticas de hogar. Específicamente ocurre en seis tipos de enfermedades y en los accidentes de tráfico debido al efecto que la contaminación provoca sobre la visibilidad.

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

La investigación es un aporte a la evaluación de políticas ambientales de Chile, específicamente al Plan de descontaminación de Temuco que incluye la medida de cambio de estufa, la cual aún no ha logrado establecerse como la opción preferente para la comunidad. Por tanto generar este tipo de información es altamente relevante para dar conocimiento a la población y los responsables políticos del Estado de los efectos de esta iniciativas y ver las posibles mejoras que se les pueden hacer, además de utilizar la información para proponer prioridades en la aplicación de nuevas políticas de descontaminación.

Ambas investigaciones desarrolladas para la elaboración de esta tesis ofrecen información relevante en la evaluación de políticas públicas a distinta escala. También prueban la aplicabilidad de metodologías de análisis económico como herramientas de valoración, identificación y seguimiento de los efectos económicos de las acciones evaluadas y orientadas a la mitigación de emisiones de GEI.

El proceso conjunto de investigaciones generadas ofrece también como contribución a la literatura una valoración y validación del papel trascendental que juega el sector forestal en el desarrollo sostenible, tanto con efectos positivos a escala país, como negativos a escala local por el mal uso del recurso. Esta situación es relevante si consideramos que Chile no presenta políticas claras asociadas a un desarrollo sostenible del sector forestal a pesar de su relevancia dada la importancia de la superficie forestal en el conjunto del territorio de este país.

Abstract

Climate change (CC) is one of the great current challenges of humanity, being one of the main threats to sustainable development, producing great economic, social and environmental consequences. In this context, several countries have generated commitments for sustainable development, for example: encourage compliance with the of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN), generate and demand sustainable production standards and other actions associated with reducing greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere aimed at achieving greater energy efficiency.

In the same way, the countries have assumed the need to generate and demand sustainable production standards and other actions, aimed at all, to reduce greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere. A central part of these actions promotes technological changes aimed at achieving greater energy efficiency.

Chile has not been oblivious and seeks to contribute to the mitigation of climate change, for which it has developed policies and actions aimed at maintaining an updated GHG registry by productive sector, promoting energy change, the use of renewable energies Unconventional (NCRE), reforestation and forest restoration, among other activities.

For the positive development and result of these policies and actions indicated, many unresolved issues still remain. The research carried out within the framework of this thesis contributes to advance in this path, sharing the general objective of developing an economic analysis at different scales of pollution reduction, identifying the factors that induce and inhibit it, as well as the use of new technologies energy for heating and cooling in the residential sector in Chile. All this aimed at promoting sustainable economic development.

There are two central investigations as pillars of this doctoral thesis.

The first work have as aim to evaluate the mitigating or polluting contributions of the productive sectors of Chile for the period 1990 to 2013, with a special emphasis on identifying the role of the forestry sector in this equation. This responds to the fact that the sector is considered as a proxy variable for land use, land use change and forestry (LULUCF) activities. Along with this, it also calculates the weights and the role of each of these sectors, as well as

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

other decomposition factors economic, energetic and demographic.

For this first investigation, an economic evaluation was carried out based on a decomposition analysis of the change in Chilean GHG emissions, so as an analysis of the level of decoupling between economic growth and these emissions. Special emphasis was placed on identifying the role that the forestry sector plays in GHG mitigation. The research allowed quantifying the positive and negative effects of different actions carried out by different national productive sectors aimed at reducing their contribution to GHG emissions.

To address the previous aims (decomposition and decoupling analysis), the LMDI method and the Tapio index have been used for the seven most relevant sectors of the Chilean economy. With the Tapio index a second level of decomposition was conducted. The main findings of the LMDI analysis and the second level decoupling analysis reveal that the Chilean forestry sector has clearly acted as an important inhibiting or sink factor for GHG mitigation in the country. However, it is not enough to balance the action as “drivers” of the rest of the sectors taken into consideration. Additionally, it is obtained that the change of energy matrix in the different sectors towards a less intensive matrix in GHG emissions is still insufficient to achieve significant mitigation.

The results also show that Chile has failed to achieve the decoupling between economic growth and CO_{2-eq} emissions. The efforts made in the forestry sector to reduce CO₂ emissions were interesting but not strong enough to meet the decoupling aims.

These results allow to do a series of recommendations. In particular, it is recommended to strengthen forest management policies and actions, especially of native forest whose area exceeds 13 million hectares. This recommendation includes encouraging the forestation, reforestation and restoration, as well as working more intensively to change the energy uses of the rest of the productive sectors. Efforts must be especially determined in the transport sector.

The second pillar of this doctoral thesis rests on local research in the city of Temuco, La Araucanía region. The city of Temuco has a high use of firewood for heating that reaches 80% of homes. It is also a city that has been declared a zone saturated with MP 10 and 2.5 particles.

This second investigation developed an economic evaluation of the benefits derived from the implementation of new technologies for the use of clean energy in homes of 51 and 70 m²

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

(the most common in the city). Specifically, the technology evaluated was photovoltaic systems with storage in batteries with an emphasis on the economic valuation of the positive externalities that occur when applying it. The externalities assessed consisted of the reduction of sanitary pathologies as a consequence of the lower emission of CO₂ and of particles in suspension after the replacement of heating systems based on the use of biomass by heating systems based on photovoltaic solar panels.

In this sense, the reduction of the monetary value of the impact of pollutant emissions, resulting from the combustion of firewood, on health and traffic accidents, was calculated by applying the "interactive tool GDB Compare" to calculate the impact of health contamination, both in terms of attributable deaths and disability-adjusted life years.

The monetary value of the impact on health has been calculated using two alternative approaches; the value of statistical life and the approach to human capital. To identify the requirements for the use of firewood, the variable day of heating degrees (DGC) has been used for temperatures ≤ 15 ° C and ≤ 18 ° C. This allowed a sensitivity analysis.

The avoided emissions calculations were refined to include the emissions associated with the manufacturing and transportation of photovoltaic systems through life cycle analysis. For all scenarios, the main results show that the savings outweigh the costs. Therefore, there is a positive effect of the change in the heating system that reduces the impact of pollution on health from household energy sources. Specifically, it occurs in six types of diseases and in traffic accidents due to the effect that pollution has on visibility.

The research is a contribution to the evaluation of Chile's environmental policies, specifically to the Temuco decontamination plan that includes the stove change measure, which has not yet been established as the preferred option for the community. Therefore, generating this type of information is highly relevant to inform the population and the political leaders of the State of the effects of these initiatives and to see the possible improvements that can be made to them, in addition to using the information to propose priorities for implementation. of new decontamination policies.

Both research developed for the elaboration of this thesis offer relevant information in the evaluation of public policies at different scales. They also test the applicability of economic analysis methodologies as tools for evaluating, identifying and monitoring the economic effects

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

of the actions evaluated and aimed at mitigating GHG emissions.

The joint process of research generated also offers as a contribution to the literature an assessment and validation of the transcendental role that the forestry sector plays in sustainable development, both with positive effects at the country level and negative effects at the local level due to the misuse of the resource. This situation is relevant if we consider that Chile does not present clear policies associated with the sustainable development of the forestry sector despite its relevance given the importance of the forest area in the whole territory of this country.

Agradecimientos

Agradezco como en todos mis pasos en la vida a mis padres, por su apoyo, ejemplo, cariño y confianza.

A mi esposa Natalia Pérez por su amor, apoyo y respaldo. Por confiar e incentivar mis ideas y proyecciones en la vida y acompañarme en cada una de ellas.

Un especial agradecimiento a mis directores de tesis, la Dra. Román Collado y el Dr. Cansino. Gracias por vuestra confianza y guía, por darme el honor de trabajar con vosotros en esta línea de investigación, por el apoyo en cada paso del proceso. Gracias por darme esta oportunidad de crecer profesionalmente y de desarrollar nuevos conocimientos que han motivado en mi persona generar nuevas metas y proyecciones en las que espero contar con vuestro apoyo.

Finalmente agradezco al programa de Doctorado en Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales la Universidad de Sevilla por todos los recursos puesto a disposición y a la Universidad Autónoma de Chile por darme todo el apoyo, colaboración y soporte posible para la realización de este doctorado.

Capítulo 1: Introducción

Los efectos del Cambio Climático (CC) son sistémicos y dispares. Se manifiestan, por ejemplo, en forma de pérdida de biodiversidad, acidificación de los océanos, aumento de la eutricación de lagos, pérdida de suelo fértil, degradación de ecosistemas, fragilidad de la biodiversidad, agotamiento del agua dulce y contaminación (incluidos los acuíferos), daños al sector agroalimentario y aumento de riesgos a la salud (Butler y Mcfarlane, 2018; Hill et al., 2009).

La preocupación mundial de los académicos por estos efectos ha movido a tomar distintas acciones al respecto. De entre ellas sobresalen la firma del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto. Ambas iniciativas permitieron el desarrollo de acuerdos orientados a reducir y equilibrar la concentración de los denominados de Gases de Efecto Invernadero (GEI) precursores del calentamiento global y del CC (ONU, 1998).

Los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. El Protocolo de Kyoto hace hincapié principalmente en seis; Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆) (IDEAM, 2007; UNFCCC, 2007).

La evaluación de la progresión de estos GEI ha sido desarrollada principalmente en función a la construcción de inventarios que relacionan sus emisiones con actividades antropogénicas y, particularmente, con la actividad económica de los países (Peters y Hertwich, 2008). La información ofrecida en estos inventarios ayuda a identificar y resolver problemas que afectan a sectores y actividades con mayor responsabilidad en las sus emisiones.

En Chile, estas emisiones son evaluadas a partir de la información contenida en el balance de GEI por sectores elaborado y publicado por el Estado chileno. Los sectores analizados son; energía, transporte, procesos industriales y uso de productos (IPPU), agricultura, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), uso de

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

solventes y otros productos (USOP), y, finalmente, Residuos.

En el contexto mundial, Chile no es un emisor relevante de GEI. De acuerdo con las estadísticas de la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés), su aporte al total de emisiones es aproximadamente el 0,25% del total mundial. El promedio mundial de emisiones de CO₂ por persona es de 4,51 toneladas. Chile se encuentra muy cercano a este promedio con 4,47 tCO₂/pp y muy por debajo del promedio de 9,68 tCO₂/pp de los países OECD (Cansino et al., 2018).

Pese a que esta información permite tener una visión general sobre el efecto de cada sector no posibilita una mayor identificación de los elementos, variables y situaciones intrínsecas a cada sector. Esto impide evaluar y generar mejores políticas nacionales para el control y mitigación de los GEI.

Para lograr lo señalado anteriormente, se hace necesario plantear y ejecutar investigaciones que permitan aportar en la correcta identificación de los principales determinantes de las emisiones de CO₂, entregar datos robustos que posibiliten diseñar eficaces políticas de crecimiento sostenible bajo en emisiones de carbono que permita alcanzar los compromisos asumidos por Chile. El conocimiento de estos determinantes permitiría orientar los esfuerzos de los sectores público y privado hacia un sistema productivo que garantice el desacoplamiento entre el crecimiento productivo y las emisiones de CO₂ sin mermar la competitividad.

A nivel mundial existen estudios que señalan a los ecosistemas forestales de diferentes tipos y edades como uno de los principales agentes sumideros de CO₂ (Carey et al., 2001; Luysaert et al., 2008; Pregitzer y Euskirchen, 2004; Zhou et al., 2006). En este sentido la investigación titulada “Does forest matter regarding Chilean CO₂ international abatement commitments? A multilevel decomposition approach” pretende identificar el aporte del sector forestal en Chile en la tarea de mitigación de GEI, revisar el funcionamiento del resto de los sectores y analizar la influencia de los diferentes elementos asociados.

Tomando en cuenta que Chile presenta una gran variedad de ecosistemas forestales que cubren una superficie de 17.926 millones de hectáreas en donde los bosques nativos ocupan una superficie aproximada de 14.633 millones de hectáreas (CONAF, 2018). Esta importante superficie otorga una gran relevancia al hecho de identificar a nivel local el aporte de estos

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

ecosistemas naturales y plantaciones que forman parte del sector forestal en la disminución de los GEI.

El análisis se realiza en base a un proceso de desacoplamiento entre las emisiones de CO₂-eq y el crecimiento económico, lo cual posibilita tener una visión integral de elementos claves del sector, que permitan planificar mejoras en las propuestas y acciones que actualmente se están llevando en el marco de aportar en la mitigación de GEI y con ello a los compromisos medioambientales de Chile.

En este mismo contexto, el principal desafío para la autoridad ambiental en Chile es la contaminación atmosférica (Celis et al., 2007). La contaminación atmosférica se define como la presencia de sustancias extrañas en la atmósfera en concentraciones suficientes como para interferir en la salud, seguridad o bienestar de los seres vivos (Salinas, 2012).

El cambio climático agrava los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no solo indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos en una multiplicidad de otros sucesos, sino, también de manera directa, por los efectos de los contaminantes para la salud (Ballester, 2005).

Hoy aproximadamente 10 millones de personas en Chile están expuestas a una concentración promedio anual de MP_{2,5} superior a lo permitido legalmente (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Esto constituye uno de los principales factores de riesgos de salud, especialmente en invierno donde la acumulación de contaminación atmosférica es más frecuente (Franco, 2012; Salinas, 2012; Vega, 2012).

En este sentido, la investigación titulada “Health and Heating in the City of Temuco (Chile). Monetary Savings of Replacing Biomass with FV System in the Residential Sector”, pretende aportar información relevante del aporte económico positivo que se derivaría de un recambio de los sistemas de calefacción de leña utilizados actualmente por los hogares de Temuco por unos basados en energía solar en función a los costos vinculados a problemas de salud y accidentabilidad de tránsito versus el costo del recambio y efectos positivos en este sentido.

Actualmente, el uso de biomasa y leña permite la diversificación de los recursos energéticos y reduce la dependencia de las importaciones de combustibles. Sin embargo, la

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

combustión de leña húmeda en aparatos de calefacción ineficientes es responsable de buena parte de la alta polución atmosférica (Cortés y Ridley, 2013).

Existen estudios que muestran una asociación positiva de las partículas en sus pensión de tamaño PM10 con el aumento en el número de atenciones de infecciones respiratorias en menores de 5 años (Barrios et al., 2004) y con causas de mortalidad a partir de patologías como la respiratoria total, cardiovascular total y cardiorrespiratorias. Estas evidencias se obtienen para la ciudad de Temuco (Sanhueza et al., 2006).

La situación expresada ha llevado a desarrollar la denominada Estrategia de Descontaminación Atmosférica en Chile: 2014-2018. En la cual versión sus principales objetivos son: I. Establecimiento de planes de descontaminación que presenten medidas efectivas en la reducción de emisiones en las zonas declaradas saturadas o latentes de Chile y II. Implementar medidas de corto plazo en zonas donde no hay planes y existe información de monitoreo que arroja altas concentraciones de material particulado (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

En el contexto de esta problemática urgente en Chile como es la contaminación, Temuco -capital de la región de región de La Araucanía- es una de las más afectadas, siendo la tercera ciudad más contaminada en Chile (Álvarez et al., 2018). Entre las principales causas de su contaminación se encuentran los bajos niveles de aislación térmica de las viviendas, el uso de calefactores antiguos, estufas de leña y el uso de combustible de mala calidad (Pérez, 2020; Shueftan y Gonzales, 2014).

En el sector residencial la leña está presente en una gran cantidad de hogares, representando un 33,2% a nivel nacional, respecto al total de viviendas. En la IX región casi un 90% de las viviendas ocupan este combustible (Ministerio de Energía, 2015).

En el marco de todo lo señalado, en mayo de 2010 fue aprobado el Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) que permite poner en práctica acciones para la reducción de las emisiones contaminantes. El objetivo del plan es reducir en un plazo de 10 años al menos el 31% de las emisiones y así dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable PM10, a lo que se sumó en 2015 indicaciones para PM2,5 (Cortés y Ridley, 2013; Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Específicamente el PDA cuenta con tres ejes prioritarios: i) uso y mejoramiento de la calidad de la leña; ii) mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda; iii) uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos, en el que se inserta el programa de recambio de calefactores (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

Para el primer punto, la acción principal ha sido la promoción de buenas prácticas de producción, secado, distribución y uso de leña, con el fin de proteger el bosque nativo, y mejorar la calidad del producto leña, para reducir la contaminación del aire en las ciudades de la zona sur de Chile (Gómez-Lobo et al., 2005).

Respecto al segundo eje, la tarea principal ha sido controlar la contaminación atmosférica generada por las estufas de leña, tanto en el ámbito local como en el nacional (Álvarez et al., 2018). En este marco se plantea una acción conjunta del Ministerio de Energía y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, quienes desarrollan la línea de subsidio de Reacondicionamiento Térmico de la vivienda desarrollada desde el año 2009 (Cárdenas et al., 2014).

Para la tercera acción prioritaria planteada por el PDA, referida al recambio de calefactores, el Estado planteó un programa que subsidia en un 100% la compra de nuevos aparatos de calefacción que puede ser de pellet o de parafina y la entrega de su antiguo calefactor y/o cocina. La meta de este programa es lograr 39.000 recambios de artefactos en las dos comunas para el año 2020 (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

En todas las acciones señaladas se busca la aplicación de uno de los principios centrales de la legislación ambiental chilena, nos referimos a la eficiencia, es decir, lograr la mayor protección ambiental al menor costo posible (Maldonado, 2009).

En este sentido se han implementado algunas normativas que regulan el mercado y las emisiones de los calefactores a leña y otros derivados de madera, además de incentivar el recambio de calefactores, buscando una potencia menor o igual a 25 kilowatts (kw), persiguiendo con ello un cambio gradual en el mercado de los calefactores hacia tecnologías sostenibles (Ministerio del Medio Ambiente, 2013).

Este proyecto lucha aun contra algunas situaciones y percepciones en la ciudadanía para logra su masividad. Ente ellas destacan dos factores vinculados, primero, la deficiente

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

aislación térmica de las viviendas, ya sea por su estructura precaria o por la materialidad de la época de construcción, principalmente de ladrillo o madera (Boso et al., 2017). A estos se suma la percepción de la población, quienes señalan que la leña climatiza mayor superficie y que el calor es más duradero, sumado a que en lo referente a costo la leña es más económica que pellets.

Estos inconvenientes en el logro del cambio de fuentes energéticas sostenibles de las viviendas, que llevan consigo la mantención del uso de leña para estos fines, han sido parte de las causas de la saturación de contaminantes atmosféricos y otros riesgos a la salud y la seguridad como los accidentes de tránsito (Barrios et al., 2004; Oyarzún, 2010).

De estos efectos negativos en salud pública de esta modernización tecnológica se ha estudiado poco, en particular respecto a los costes económicos en salud y accidentabilidad que genera este retraso en la masificación del cambio de métodos de calefacción de las viviendas en las ciudades que viven múltiples episodios de saturación de contaminación en Chile.

El presente documento que constituye el segundo artículo de investigación toma esta preocupación y realiza un análisis exhaustivo de la sustitución del uso residencial de estufas de leña para calefacción con sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad mediante baterías de almacenamiento (sistemas de almacenamiento FV +).

La investigación se centra en la ciudad de Temuco (sur de Chile) como un estudio de caso. Temuco es una ciudad del sur de Chile, con una población de poco más de 220 mil habitantes, tiene un alto uso de leña para calefacción (80% de los hogares). Es una de las ciudades que ha sido declarada por las autoridades como un área saturada de partículas.

En esta investigación, se calcula la reducción del valor monetario del impacto de las emisiones contaminantes resultantes de la combustión de leña sobre la salud y los accidentes de tránsito, comparado con el coste total correspondiente a la adquisición de sistemas.

Investigaciones como esta, buscan ser la base para la planificación de acciones a escala nacional y local, que permitan mejorar la calidad de vida de la población, el cumplimiento de compromisos medio ambientales adquiridos, junto con aportar a la sociabilización y aplicación del concepto de sostenibilidad a nivel país.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Particularmente, la información obtenida en el conjunto de investigaciones de esta tesis, son una aportación altamente significativa para la planificación y gestión del Estado chileno en la lucha por la descontaminación y la mitigación del CC. Puesto que, esta información puede ser aplicada en la generación, implementación y mejorar de políticas públicas de desarrollo sostenible.

Capítulo 2: Objetivos

Las principales contribuciones de la tesis son dos artículos publicados en revistas científicas que se ubican en el tópico de la economía ambiental. Específicamente, son los siguientes artículos:

- Does forest matter regarding Chilean CO₂ international abatement commitments? A multilevel decomposition approach.

El objetivo de este trabajo es identificar la influencia de los diferentes sectores productivos de Chile en la mitigación de las emisiones de CO₂-eq entre 1990 a 2013, marcando con especial énfasis el papel del sector forestal, basado en un enfoque de descomposición multinivel.

- Health and Heating in the City of Temuco (Chile). Monetary Savings of Replacing Biomass with FV System in the Residential Sector.

El objetivo de esta investigación es determinar los efectos de 2 matrices energéticas aplicadas en la ciudad de Temuco, en función a un análisis de los impactos en salud y accidentabilidad de la contaminación, medido en términos monetarios mediante la aplicación de la herramienta interactiva GDB Compare.

Capítulo 3: Resultados y Discusión

En el presente capítulo se presentan el desarrollo y resultados de las investigaciones publicadas, que son base de la presente tesis. Estas serán separadas en 2 subcapítulos y conformadas por sus respectivas introducciones, metodologías, resultados y discusiones y finalmente las conclusiones particulares de cada una.

3.1. ¿Es importante el bosque con respecto a los compromisos internacionales de reducción de CO₂ en Chile? Un enfoque de descomposición multinivel

3.1.1. Introducción

Según el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las contribuciones inducidas por el hombre al cambio climático están fuertemente vinculadas con las emisiones de CO_{2-eq} relacionadas a la energía debido al alto peso de los combustibles fósiles en la matriz energética (*Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto informe de evaluación del panel intergubernamental sobre cambio climático*, 2014). Esto ha elevado la importancia del comportamiento humano en las políticas públicas y la legislación ambiental, donde la cooperación internacional es una coyuntura crítica.

La recomendación para los países es diseñar una hoja de ruta que permita una transición hacia una economía baja en carbono (Fankhauser et al., 2015). El objetivo final es desacoplar las emisiones de CO_{2-eq} del crecimiento del producto interno bruto (PIB). El desacoplamiento (o desvinculación) se refiere a una situación en la que la actividad económica agregada aumenta pero el estrés ambiental disminuye durante el mismo período de tiempo (Vehmas et al., 2007).

Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático ya que cumple con siete de las nueve características enumeradas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Según lo establecido en la Conferencia de las Partes, el país tiene áreas costeras bajas, áreas áridas y semiáridas, bosques, territorios

susceptibles a desastres naturales, otros que son propensos a la sequía y la desertificación, áreas urbanas con contaminación atmosférica y ecosistemas de montaña (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Al mismo tiempo que Chile muestra su vulnerabilidad al cambio climático, sus bosques ofrecen una herramienta relevante y útil en la batalla contra el calentamiento global. Siguiendo a la CMNUCC, la tasa de acumulación de CO_{2-eq} en la atmósfera puede reducirse aprovechando el hecho de que el CO_{2-eq} atmosférico puede acumularse como carbono en la vegetación y los suelos de los ecosistemas terrestres. Según la CMNUCC, cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine un gas de efecto invernadero –GEI– de la atmósfera se denomina “sumidero” (CMNUCC, sin fecha). "Sumidero" significa cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI de la atmósfera.

Las actividades humanas impactan los sumideros terrestres a través del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y las actividades forestales (UTCUTS). En consecuencia, se altera el intercambio de CO₂ (ciclo del carbono) entre el sistema de biosfera terrestre y la atmósfera (CMNUCC, s.f.). Como resultado, el papel de las actividades de UTCUTS en la mitigación del cambio climático ha sido reconocido desde hace mucho tiempo y se revela claramente en el último Inventario Nacional de emisiones de GEI de Chile (Anexo 1) que cubre el período 1990 a 2013. Durante todo el período, las contribuciones del sector UTCUTS a las emisiones de GEI fueron negativas, destacando su papel como sumidero.

Debido a su importancia dentro de las actividades de UTCUTS, las acciones del sector forestal chileno pueden considerarse como una variable proxy de estas actividades (Anexo 2). El 22,9% del territorio chileno está cubierto por bosques (17,3 millones de hectáreas). Del total de hectáreas de bosque, 14,18 millones son bosques nativos y 2,96 millones son plantaciones forestales (CONAF, 2018). Ackerknecht (2013) demostró que el secuestro de CO₂ por parte de los bosques chilenos podría compensar las emisiones del sector contaminante en diferentes escenarios analizados hasta 2020.

En base a esto, como parte de la contribución nacional tentativa (INDC por sus siglas en inglés) presentadas por las autoridades chilenas a las Conferencias de las Partes en París en 2015 (COP 21), se comunicó un compromiso de dos niveles para ser incluido

en el documento final conocido como el acuerdo de París. El primero no consideró el sector UTCUTS pero el segundo sí.

Cuando se excluye el sector UTCUTS (primer nivel) y no se considera la cooperación internacional, el compromiso exacto se refiere a reducir sus emisiones de CO₂ por unidad de PIB en un 30% por debajo de sus niveles de 2007 para 2030. Sin embargo, cuando el sector UTCUTS se toma como parte de los compromisos chilenos en el Acuerdo de París, este país está comprometido con i) el desarrollo sostenible y la recuperación de 100,000 hectáreas de tierras forestales, principalmente nativas, que representarán la captura de GEI y la reducción de un equivalente anual de alrededor de 600,000 toneladas equivalentes de CO₂ a partir de 2030 y ii) reforestar 100,000 hectáreas, principalmente con especies nativas, lo que representará el secuestro de aproximadamente 900,000 y 1,200,000 toneladas anuales equivalentes de CO₂ a partir de 2030 (Ministerio del Interior, 2015).

En este marco, el presente trabajo tiene dos objetivos principales. El primero es evaluar el papel del sector forestal (actividades UTCUTS) en el cambio de las emisiones de CO_{2-eq} de 1990 a 2013. El segundo es explorar si el sector forestal siempre ha contribuido al proceso de desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento económico para el período considerado.

Para abordar el primer objetivo se aplica el método basado en el índice de medias logarítmicas de divisa –LMDI I (Ang, 2005)-. Esta técnica consiste en utilizar un tipo de análisis de descomposición de índice (ADI). Se ha revelado que LMDI I es una herramienta útil para comprender la evolución de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía e identificar las fuerzas impulsoras que han afectado estos cambios.

Dicho método puede aplicarse fácilmente a cualquier fuente de datos disponible en cualquier nivel de agregación en un período de tiempo determinado, pese a lo anterior, según nuestro conocimiento, esta es la primera vez que se aplica en el sector forestal una herramienta para probar efecto inhibitorio esperado del sector sobre las emisiones de CO₂. En este sentido, el documento contribuye a acrecentar el set de conocimientos en este tema, basados en el análisis LMDI.

Para lograr el segundo objetivo del documento se utiliza un índice de desacoplamiento de resultados del LMDI, con el fin de estudiar la contribución del sector forestal en un posible proceso

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

de desacoplamiento entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico. En el primer paso, el estado de desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento del PIB se analiza a partir de un índice basado en la elasticidad de desacoplamiento (Tapio, 2005).

En un segundo paso se realizó un segundo nivel de descomposición considerando los efectos del análisis LMDI-I para analizar si el despliegue del sector forestal supera a los sectores contaminantes, permitiendo avanzar hacia un proceso de desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento económico. Aquí la contribución al estado del conocimiento se deriva del uso de LMDI, el índice de Tapio y una descomposición de segundo nivel de los resultados de LMDI, todos juntos enfocados en un sector generalmente excluido de este análisis.

3.1.2. Metodología

3.1.2.1. Análisis LMDI

La literatura ofrece variadas y diferentes técnicas de descomposición, como el método del Índice de Divisia Media Aritmética Logaritmica-1, el Índice Ideal Modificado de Fisher, el método Marshall-Edgeworth, Laspeyres, Paaschen, Sato-Vartia y Torqvist (Liu y Ang, 2003). Entre estos diversos métodos ADI, el método LMDI parece ser el que ofrece más ventajas (Ang, 2004; Chen y Yang, 2015; Fernández González et al., 2014; Guo et al., 2014; Moutinho et al., 2015; Shahiduzzaman y Layton, 2015; Sumabat et al., 2016; Timilsina y Shrestha, 2009; Zhang et al., 2009, 2016). Esta investigación sigue los criterios de Ang (2004) para evaluar las diversas descomposiciones métodos.

En este sentido, la ecuación IPAT (Impacto = Población × Afluencia × Tecnología) es el punto de partida para el LMDI que se realizó. Específicamente, el modelo IPAT (Brizga et al., 2013; Commoner, 1971; York et al., 2002) y la 'Identidad de Kaya' (Kaya, 1989; Yamaji et al., 1991) se extienden usando IDA para evaluar los impulsores claves detrás de las emisiones de CO₂ de Chile.

La "identidad Kaya" se ha utilizado en una serie de estudios que abordan las intensidades relacionadas con la energía, la economía y el clima a nivel mundial. (Akbostanci et al., 2011; Ang y Pandiyan, 1997; Ang y Zhang, 2000; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013; Lin y Moubarak, 2013; Lu et al., 2007; Oh et al., 2010; Paul

y Bhattacharya, 2004; Sheinbaum-Pardo et al., 2012; Sun, 1998).

En relación a este tipo de estudios centrados en la economía chilena se podrían citar los realizados por Mundaca (2013) y Duran et al. (2015). También es posible, tomar en cuenta el informe anual de la agencia internacional de energía (AIE) sobre emisiones de CO₂, basado en la aplicación de la identidad Kaya. En el caso de Duran et al. (2015) se llevó a cabo una descomposición del consumo de energía por parte de la industria chilena pero no de las emisiones de CO₂ como se expresa en el presente trabajo.

El análisis realizado por nuestra investigación considera siete sectores productivos para la economía chilena: energía, transporte, industria, uso de solventes y otros productos –USOP- agricultura, bosque (actividades UTCUTS) y residuos. Siguiendo a Cansino et al. (2015) se han propuesto seis factores para identificar, cuantificar y explicar el principal determinante de la variación de las emisiones totales de CO_{2-eq} relacionadas con la energía en Chile entre 1991 y 2013. Los resultados podrían permitir evaluar el papel desempeñado por el sector forestal.

Los factores de descomposición incluyen el efecto de intensidad de carbono (CI), el efecto de penetración de fuentes de energía renovables (RES), el efecto de intensidad de energía (EI), el efecto de estructura económica (ES), el efecto de ingresos (Yp) y el efecto de población (P). Aplicando la descomposición propuesta a siete sectores productivos, las emisiones totales de CO_{2-eq} se pueden descomponer de la siguiente manera:

$$CO_{2i} = \sum_{i=1}^7 CI_i \cdot RES_i \cdot EI_i \cdot ES_i \cdot Yp \cdot P = \sum_{i=1}^7 \frac{CO_{2i}}{FF_i} \cdot \frac{FF_i}{E_i} \cdot \frac{E_i}{Y_i} \cdot \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{Y}{P} \cdot P \quad (1)$$

CO_{2i} representa las emisiones de CO_{2-eq} relacionadas con la energía del sector i; FF_i denota la proporción de combustibles fósiles del sector i; E_i representa el consumo de energía del sector i; Y_i representa la producción del sector i; Y denota la producción total para toda la economía, lo mismo que en CO_{2-eq}, y P representa la población.

Los cambios en las emisiones de CO_{2-eq} pueden evaluarse implementando descomposición aditiva o multiplicativa. En este artículo, se realiza un análisis aditivo de

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

LMDI I. La relación general de cambio en las emisiones de CO_{2-eq} durante el período 0 y t se descompone de la siguiente manera:

$$\Delta CO_2 = CO_{2t} - CO_{20} = \Delta CI + \Delta RES + \Delta EI + \Delta ES + \Delta Yp + \Delta P \quad (2)$$

ΔCO_2 representa los cambios en las emisiones agregadas de CO_{2-eq} en la economía de un período a otro, siendo las variables del lado derecho los representantes de los diversos determinantes contribuyentes como se definió anteriormente, pero ahora se los conoce como cambios. Al considerar la identidad de descomposición aditiva, las ecuaciones [3] a [8] exponen las fórmulas LMDI para cada efecto:

$$\Delta CI = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln \left(\frac{CI_{i,t}}{CI_{i,0}} \right) \quad (3)$$

$$\Delta RES = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln \left(\frac{RES_{i,t}}{RES_{i,0}} \right) \quad (4)$$

$$\Delta EI = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln \left(\frac{EI_{i,t}}{EI_{i,0}} \right) \quad (5)$$

$$\Delta ES = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln \left(\frac{ES_{i,t}}{ES_{i,0}} \right) \quad (6)$$

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

$$\Delta Yp = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln\left(\frac{Yp_t}{Yp_0}\right) \quad (7)$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^7 w_i(t) \cdot \ln\left(\frac{P_t}{P_0}\right) \quad (8)$$

En estas ecuaciones, el término $w_i(t)$ es el peso estimado para el método aditivo LMDI I y se define por Ang (2005):

$$w_i(t) = \frac{CO_{2i,t} - CO_{2i,0}}{\ln CO_{2i,t} - \ln CO_{2i,0}} \quad (9)$$

La ecuación [3] captura el factor de intensidad de carbono (CI). La variable ΔCI muestra los cambios en las emisiones de CO_{2-eq} del consumo de combustibles fósiles en el sector i ($= CO_{2i} / FF_i$), entre los períodos t y 0 , respectivamente. La información estadística disponible no ofrece el consumo de combustibles fósiles desglosado por tipo de combustibles, por lo que FF_i es el total de combustibles fósiles por sector sin distinguir los diferentes combustibles. A pesar de esta falta de información, el factor CI podría usarse para evaluar la sustitución entre combustibles fósiles. Esto es posible si las estadísticas muestran cambios en los tipos de fuentes de energía primaria utilizadas (es decir, gas natural que reemplaza al carbón o viceversa). Suponemos que cuanto mejor es un combustible fósil, menos CO_{2-eq} emite.

La ecuación [4] muestra el factor de penetración de la fuente de energía renovable (RES). La variable ΔRES indica la proporción del consumo de combustible fósil con respecto a la energía primaria total requerida en el sector i ($= FF_i / E_i$), entre los períodos t y 0 , respectivamente.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Sobre RES se hace necesario hacer un comentario específico para comprender mejor su vínculo con los datos de emisiones de CO_{2-eq}. Al llevar a cabo un análisis de descomposición, podríamos investigar el papel de RES en la matriz energética de Chile. Sin embargo, debe resolverse un problema que está relacionado con el hecho de que las tecnologías RES son libres o casi libres de emisiones de CO_{2-eq}, y observamos esto como una variable crucial.

Para salvar esta falta de información concreta respecto a estas tecnologías, tomamos en consideración la evolución de la relación entre el consumo total de combustibles fósiles para el consumo total de energía primaria (O'Mahony, 2013). Una disminución en los valores de la proporción del uso total de fósiles sobre el uso total de energía podría mostrar una mayor proporción de RES en la matriz energética de Chile.

La ecuación [5] presenta el factor de intensidad energética (EI). La variable ΔEI muestra la energía primaria total requerida en comparación con la producción en el sector i ($= E_i / Y_i$), entre los períodos t y 0 , respectivamente. El factor EI a menudo se usa como un proxy agregado de la eficiencia energética o el nivel tecnológico de la economía de un país (Goldemberg y Johansson, 2004; Voigt et al., 2014).

La ecuación [6] es la combinación económica o factor de estructura económica (ES). La variable ΔES muestra la estructura sectorial de la economía de Chile entre el período t y 0 , respectivamente. Incorpora el impacto relativo de los cambios estructurales en la economía de Chile en términos de emisiones de CO_{2-eq} para un año determinado incluido en el análisis.

La ecuación [7] es el factor de ingreso (Y_p). La variable ΔY_p es la producción per capita entre el período t y 0 , respectivamente. El factor Y_p captura el factor de ingreso en función a los cambios de emisiones de CO_{2-eq} en el consumo de energía.

La ecuación [8] muestra el factor de población (P). La variable ΔP muestra la población total entre el período t y 0 , respectivamente. El factor P permite analizar los efectos del crecimiento de la población como determinante para las emisiones de CO_{2-eq}.

Para los casos de valor cero Ang et al. (1998), Ang y Choi (1997) y Ang y Liu, 2007) propusieron que la mejor manera de manejar esta situación es mediante la sustitución de

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

ceros por un valor δ entre 10^{-10} y 10^{-20} . Esto se conoce como la estrategia de pequeño valor (SV) (Ang y Liu, 2007).

3.1.2.2.- Análisis de desacoplamiento

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del gobierno de Chile en la batalla contra el cambio climático es desacoplar las emisiones de CO_{2-eq} del crecimiento del PIB, el enfoque de desacoplamiento realizado en esta investigación busca aportar en esta meta, analizando la reacción de las emisiones de CO_{2-eq} en respuesta a un cambio en el PIB a través de un índice de elasticidad.

El índice de elasticidad de desacoplamiento desarrollado Tapio (2005) mide la posible disociación entre el crecimiento económico y los problemas ambientales en un período de tiempo. La elasticidad de desacoplamiento (ϵ) se puede expresar mediante el cambio porcentual de las emisiones de CO_{2-eq} respecto del cambio porcentual del PIB durante el período t y 0 tal y como se muestra en la ecuación [10]:

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta CO_2}{CO_2}}{\frac{\Delta PIB}{PIB}} \quad (10)$$

Usando la diferencia (Δ) entre los valores de intensidades de estrés medioambiental (emisiones de CO_{2-eq}) en dos momentos del tiempo, una condición suficiente para la desvinculación o desacoplamiento débil es:

$$\Delta \left(\frac{CO_2}{PIB} \right) \leq 0 \quad (11)$$

El desacoplamiento débil implica que el estrés ambiental del PIB disminuye con el tiempo. Sin embargo, las emisiones de CO_{2-eq} todavía pueden aumentar, pero a un ritmo

menor que el crecimiento económico. Para que la desvinculación sea fuerte, se requiere que $\Delta \text{CO}_2 \leq 0$ (Vehmas et al., 2007).

Aunque De Bruyn (2000) inicialmente solo distinguió entre desacoplamiento débil ($\epsilon \leq 0$) y desacoplamiento fuerte ($\Delta \text{CO}_2 \leq 0$), Tapio (2005) y Vehmas et al. (2007) proporcionaron una lista más amplia de posibles estados, definiendo específicamente ocho estados. Cuando el crecimiento económico positivo ocurre al mismo tiempo que aumentan las emisiones de CO_{2-eq}, estos autores lo llaman “desacoplamiento negativo expansivo” ($\epsilon > 1.2$), “acoplamiento expansivo” ($0.8 \leq \epsilon \leq 1.2$) y “desacoplamiento débil” ($0 \leq \epsilon \leq 0.8$). El término "expansivo" se debe al crecimiento económico positivo. Cuando se produce un crecimiento económico negativo mientras ($\Delta \text{CO}_2 / \text{CO}_2$) aumenta, entonces los autores nombran este estado como "fuerte desacoplamiento negativo". Pero, si ($\Delta \text{CO}_2 / \text{CO}_2$) disminuye cuando aparece un crecimiento económico negativo, entonces otros tres nuevos estados se denominan “Desacoplamiento negativo débil” ($0 \leq \epsilon \leq 0.8$), “acoplamiento recesivo” ($0.8 \leq \epsilon \leq 1.2$) y “desacoplamiento recesivo” ($\epsilon > 1.2$). Finalmente, cuando ($\Delta \text{PIB} / \text{PIB}$) > 0 y ($\Delta \text{CO}_2 / \text{CO}_2$) ≤ 0 , se refieren a este estado como "desacoplamiento fuerte" ($\epsilon \leq 0$).

Sin embargo, el cambio porcentual de las emisiones de CO_{2-eq} del PIB dado por la ecuación [10] solo da una medida aproximada del esfuerzo realizado en Chile hacia el logro del desacoplamiento. Para proporcionar un análisis más estilizado se realiza una descomposición de segundo nivel. Con el fin de probar de mejor forma el papel como sumidero del sector forestal, el cual supera a los sectores contaminantes si aplicamos el índice de desacoplamiento en la descomposición de LMDI, demostrando que el estado de desacoplamiento es influenciado por los diferentes efectos incluidos en el análisis de LMDI (Jiang et al., 2016). En otras palabras, esto permite examinar el esfuerzo realizado tanto en los factores de descomposición como en los sectores económicos para lograr el desacoplamiento.

Siguiendo a Diakoulaki y Mandaraka (2007), entendemos que en el marco del control de emisiones, un esfuerzo se concibe como un término general que se refiere a cualquier tipo de acción que directa o indirectamente pueda inducir a una disminución en las emisiones chilenas de CO_{2-eq}, incluidas aquellas orientadas a promover el secuestro de CO_{2-eq}.

Los esfuerzos realizados durante el período analizado se denominan efecto inhibidor (ΔC_t) y pueden representarse como la suma de los factores explicativos incluidos en la ecuación [12].

Como punto de partida se supone que el crecimiento económico provoca emisiones de CO_{2-eq}. Al mismo tiempo, las emisiones de CO_{2-eq} pueden reducirse debido a medidas gubernamentales orientadas a la mitigación (es decir, mejorar la eficiencia energética, medidas para la reforestación de bosques nativos, extinción de incendios, establecer restricciones para el uso de combustibles con mayor cantidad de contaminantes, etc.). Para mostrar el efecto inhibidor total y de la ecuación [2] utilizamos la siguiente ecuación.

$$\Delta C_t = \Delta CO_2^t - \Delta Yp^t = \Delta CI_i^t + \Delta RES_i^t + \Delta EI_i^t + \Delta ES_i^t + \Delta P^t \quad (12)$$

Donde ΔC_t es el efecto inhibidor total sobre las emisiones de CO_{2-eq}.

Para obtener una mejor comprensión de los esfuerzos desplegados aplicamos una nueva medida de desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento económico. Este índice de desacoplamiento presenta una relación intuitiva entre los impactos ambientales y se define en las ecuaciones [13] y [14]

$$\frac{\Delta C_t}{-\Delta Yp^t} = \frac{\Delta CO_2^t - \Delta Yp^t}{-\Delta Yp^t} = \frac{\Delta CI_i^t + \Delta RES_i^t + \Delta EI_i^t + \Delta ES_i^t + \Delta P^t}{-\Delta Yp^t} \quad (13)$$

$$\delta_t = \delta_{CI}^t + \delta_{RES}^t + \delta_{EI}^t + \delta_{ES}^t + \delta_P^t \quad (14)$$

Donde δ_t se refiere al índice de desacoplamiento total y δ_{CI}^t , δ_{RES}^t , δ_{EI}^t , δ_{ES}^t y δ_P^t estos valores indican la intensidad de carbono, la RES, la intensidad energética, la estructura y los efectos de la población en el desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento económico.

Las ecuaciones [13] y [14] capturan adecuadamente el efecto inhibidor. Debe considerarse que el valor negativo del efecto inhibidor puede ocurrir debido a un cambio positivo en las emisiones de CO_{2-eq} (ΔCO_2^T) que se compensa con el cambio de emisiones debido al efecto de salida. Por lo tanto, un valor negativo de ΔC_t no necesariamente conduce a un valor negativo del cambio total de emisiones de CO_{2-eq} ΔCO_2 (Jiang et al., 2016). Para evaluar el grado en que estos esfuerzos son efectivos en términos de desacoplamiento del crecimiento económico de los cambios en las emisiones, se calcula un nuevo índice de desacoplamiento δ_t en la ecuación [14]. El análisis sectorial proporcionaría información sobre el papel desempeñado por el sector forestal y otros.

En términos absolutos el δ_t puede tomar los siguientes valores. Si el valor del índice es $\delta_t \geq 1$ denota fuertes esfuerzos de desacoplamiento, es decir, el efecto inhibidor ΔC_t es más significativo que el efecto de salida. Si el índice de desacoplamiento está entre $0 \leq \delta_t \leq 1$, denota esfuerzos de desacoplamiento débiles, es decir, el efecto inhibidor ΔC_t es más débil que el efecto de salida. Finalmente, si el índice de desacoplamiento es $\delta_t \leq 0$ indica que no ha habido esfuerzos de desacoplamiento (Diakoulaki y Mandaraka, 2007; Jiang et al., 2016).

3.1.2.3. Base de datos

Los datos de emisiones para CO_{2-eq} provienen de los inventarios oficiales de emisiones que el gobierno de Chile ha enviado a la CMNUCC (Gobierno de Chile, 2016). El año más reciente para el que había información disponible cuando se realizó la investigación fue 2013, esto fue lo que finalmente establece el período que se analiza.

Los datos para esta investigación han sido suministrados específicamente por el Ministerio del Medio Ambiente. Los datos de consumo de energía, tanto para combustibles fósiles como para consumo de energía, se han tomado de los balances de energía publicados por el Ministerio de Energía (CNE, 2015). Todos los datos de consumo de energía se miden en Teracalorías. También se consideraron los saldos de energía disponibles en Energía 2050.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Se utilizaron series temporales del PIB porque no hay datos disponibles sobre el valor agregado bruto. Los datos del PIB provienen de la Contabilidad Nacional elaborada por el Banco Central de Chile. Todos los datos utilizados corresponden a datos del PIB real a precios constantes para 2008 (BCC, 2016a). Estas series del PIB en términos reales se han construido utilizando el deflactor anual del PIB por clase de actividad y los tipos de cambio para los valores del deflactor a partir de las series vinculadas incluidas en las bases de datos de la mencionada Contabilidad Nacional del Banco Central (BCC, 2016b).

La economía chilena total se agrupa en los siguientes siete sectores mencionados: energía, transporte, procesos industriales y uso de productos (IPPU), agricultura, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), uso de solventes y otros productos (USOP) y, finalmente, Residuos. Debido a la relevancia del bosque chileno como se explica en la sección de introducción, sus emisiones aparecen asignadas en el sector de cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) en el mencionado inventario nacional.

Los criterios para agrupar las actividades productivas en estos siete sectores eran dobles. Primero, el de hacer coincidir la información de los inventarios oficiales de emisiones, los balances energéticos y los datos del PIB. En segundo lugar, para administrar aquellos sectores incluidos en la Contribución prevista determinada a nivel nacional de Chile presentada a París en 2015. Los datos de población se han tomado del Banco Central de Chile (BCC, 2016c).

Finalmente, la información de incendios forestales provino de Estadísticas Históricas de Incendios en Ecosistemas Forestales de Chile (1990-2013), disponibles en los repositorios digitales de CONAF.

3.1.3. Resultados

3.1.3.1. Resultados LMDI.

Los resultados de la Tabla 1 y la Figura 1 revelan que los únicos dos factores que actúan como impulsores claros de las emisiones de CO_{2-eq} para todo el período bajo análisis fueron los efectos ingresos y población. Estos resultados están en línea con los obtenidos por Mundaca (2013) e IEA (2017 a). El efecto de riqueza que señala Mundaca (2013) podría considerarse como el factor de ingreso en nuestro análisis.

El rol que juegan los efectos sobre el ingreso y la población como impulsores de las emisiones de CO_{2-eq} también fue identificado para otros países, como se señala en, Hatzigeorgiou et al., (2008) para el caso de Grecia, Donglan et al. (2010) para el sector residencial de China y Moutinho et al (2015) para el este, oeste, norte y sur de Europa. Junto con lo anterior, el aumento de los ingresos y la población agrega estrés ambiental medido en términos de emisiones de CO_{2-eq} principalmente debido a los mayores niveles de energía en el consumo.

La Tabla 1 y la Figura 1 también revelan que el resto de los factores de descomposición no muestran un patrón claro para el período bajo análisis presentando valores positivos para algunos períodos (impulsando las emisiones de CO_{2-eq}) y valores negativos en otros casos (actuando como factores compensadores). La única excepción que podría mencionarse es el comportamiento del factor de intensidad energética que tiene valores negativos para la mayoría de los años analizados.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

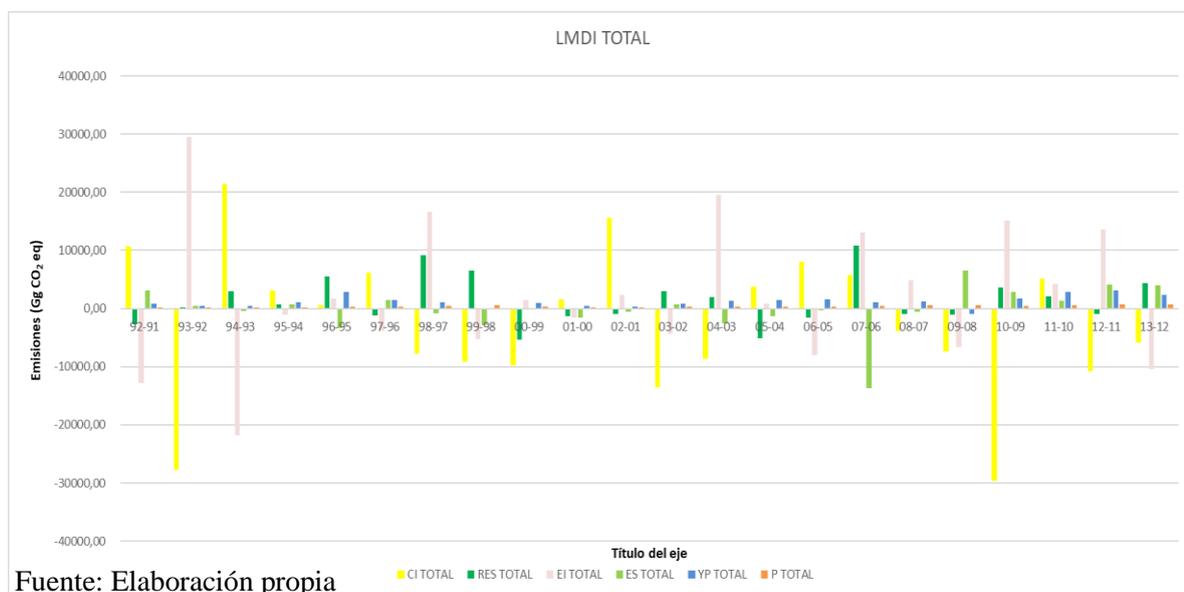
Tabla 1. Valores de factores de descomposición 1991-2013

Periodo	CI	RES	EI	ES	YP	P	Δ CO ₂
92-91	7,549.6	355.7	-12,840.8	3,147.4	779.7	160.0	-848.4
93-92	-27,475.7	-20.8	29,493.0	517.2	426.6	176.9	3,117.3
94-93	24,177.1	240.2	-21,787.5	-386.8	398.0	208.2	2,849.2
95-94	3,627.2	169.6	-1,010.2	664.9	1,056.8	252.7	4,761.0
96-95	3,685.7	2,463.6	1,692.6	-3,341.0	2,875.7	276.2	7,652.9
97-96	5,672.1	-676.4	-3,813.6	1,497.6	1,496.7	344.5	4,520.8
98-97	-22,667.7	4,289.9	21,078.9	-850.0	829.9	383.7	3,064.8
99-98	12,100.3	3,412.7	-7,609.3	-2,618.9	-66.2	431.6	5,650.1
00-99	-11,811.5	-3,316.0	1,449.0	25.5	963.9	382.3	-12,306.7
01-00	861.0	-671.6	-1,510.8	-1,597.9	474.0	246.9	-2,198.3
02-01	15,280.1	-613.6	2,395.9	-517.1	337.1	186.3	17,068.7
03-02	-12,551.6	1,913.3	-4,285.3	686.0	877.8	343.6	-13,016.2
04-03	-7,913.1	1,229.6	19,558.1	-2,520.9	1,399.4	318.3	12,071.4
05-04	2,214.7	-3,588.6	792.1	-1,280.4	1,475.6	368.1	-18.5
06-05	7,486.6	-1,118.5	-8,030.7	-347.5	1,555.9	366.6	-87.6
07-06	8,502.9	8,101.4	13,142.4	-13,752.2	1,040.9	464.3	17,499.7
08-07	-3,980.6	-723.3	4,823.0	-518.1	1,212.2	579.2	1,392.4
09-08	-7,556.0	-775.2	-6,610.1	6,562.2	-979.1	553.5	-8,804.7
10-09	-28,655.1	2,677.6	15,117.9	2,891.7	1,692.6	465.7	-5,809.7
11-10	5,521.3	2,003.6	3,981.9	1,085.9	2,175.1	483.9	15,251.7
12-11	-7,506.8	-752.8	11,338.2	3,283.5	2,143.8	521.1	9,027.0
13-12	-5,460.6	3,039.2	-9,045.1	3,379.7	1,470.7	485.4	-6,130.7

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los factores de intensidad energética coinciden con los encontrados por Wang et al. (2016). Estos autores realizaron un análisis también basado en LMDI y análisis de descomposición, pero limitado al sector de la Industria en China. Otro caso es la revisión de la literatura ofrecida por Löfgren y Muller (2010) la cual mostró que para los países desarrollados, la intensidad energética disminuye y contribuye a reducir las emisiones, mientras que, para los países en desarrollo, el aumento de la intensidad energética contribuye a mayores emisiones. La intensidad energética en Chile fue más cercana a la de los países desarrollados, lo que implica cambios tecnológicos orientados a reducir el consumo de energía por unidad de producción.

Figura 1. Resultados LDMI



Fuente: Elaboración propia

Cuando se realiza un análisis sectorial de estos dos impulsores claros $-P$ e Y_p de las emisiones de CO₂-eq (ver anexos 3 y 4) se observa que el sector forestal es el único que se comporta como un sector inhibitor contra el aumento de emisiones. Sin embargo, su comportamiento como sumidero de las emisiones de CO₂-eq no es suficiente para compensar el efecto de sectores de fuerte emisión como la energía, la agricultura o la industria.

Los análisis sectoriales para los factores CI, RES, EI y ES también revelan un buen comportamiento del sector forestal como compensación de las emisiones de CO₂-eq, aunque de una manera menos clara que en los factores antes mencionados (ver anexos del 5 al 8). En el caso específico de la IE, su comportamiento es diferente para el identificado por Löfgren y Muller (2010) para Suecia. En esta investigación (un caso raro en la literatura que incluye el sector forestal en un análisis de descomposición) el efecto de la intensidad energética para la silvicultura contribuyó al aumento de las emisiones para el período 1996-2006.

Con respecto al factor CI, el sector forestal es el que produce picos más altos como compensador de las emisiones de CO₂-eq cuando se compara con los otros sectores productivos. Además, el sector forestal se muestra como el factor determinante en el valor total de mitigación del período, su acción mitigante coincide con los períodos en que el IC muestra valores negativos.

3.1.3.2.- Resultados del análisis de desacoplamiento

La Tabla 2 muestra los resultados para el índice Tapio que informa sobre el grado de desacoplamiento entre las emisiones de CO_{2-eq} y el crecimiento económico en la economía chilena para el período bajo análisis. Los resultados muestran que, durante la mayor parte de los años, la economía chilena no ha podido compensar las emisiones de CO_{2-eq} del crecimiento económico y, cuando lo ha hecho, se debe a que la tasa de crecimiento de las emisiones ha sido mayor que la tasa de crecimiento económico. El resultado más común de la Tabla 2 es el de “Desacoplamiento negativo expansivo” y está en línea con los resultados obtenidos por Mundaca (2013).

Tabla 2. Análisis de desacoplamiento de Tapio.

Periodo	Cambio de emisiones CO _{2-eq}	Cambio PIB	Índice Tapio
92-91	-0.09	0.12	-0.74
93-92	0.37	0.07	5.26
94-93	0.25	0.06	4.43
95-94	0.34	0.11	3.23
96-95	0.41	0.07	5.49
97-96	0.17	0.07	2.45
98-97	0.10	0.04	2.54
99-98	0.16	-0.01	-29.38
00-99	-0.30	0.05	-5.77
01-00	-0.09	0.03	-2.66
02-01	0.65	0.03	24.13
03-02	-0.30	0.04	-7.92
04-03	0.40	0.07	5.70
05-04	0.02	0.06	0.25
06-05	-0.01	0.06	-0.10
07-06	0.42	0.05	8.11
08-07	0.03	0.03	0.91
09-08	-0.14	-0.01	13.38
10-09	-0.11	0.06	-1.89
11-10	0.33	0.06	5.72
12-11	0.15	0.05	2.79
13-12	-0.06	0.04	-1.53

Solo en nueve años dentro del período analizado, la economía chilena mostró buenos resultados desde el punto de vista del proceso de desacoplamiento (1990-1991, 1999-2001, 2002-2003, 2004-2006, 2008-2010 y 2012-2013). Cabe señalar que el 27 de febrero de 2010, ocurrió un terremoto que alcanzó una magnitud de 8.8 MW y fue seguido por un tsunami. Este desastre natural retrasó la activación de la economía del país hasta 2011. En cualquier caso, durante la mayoría de los años mostrando buenos resultados desde la perspectiva de desacoplamiento, en el que la economía chilena logró un crecimiento económico positivo y una reducción en las emisiones de CO_{2-eq}, el análisis del sector LMDI muestra que el sector forestal actuó como un sector compensador con respecto a los factores EI, CI y ES.

El estado frecuente de “desacoplamiento negativo expansivo” revelado en la Tabla 2, puede explicarse considerando que la matriz energética chilena se basa principalmente en el uso de combustibles fósiles. Esta situación se acentuó a partir de 2007 cuando cesaron las importaciones de gas natural de Argentina y las autoridades chilenas decidieron sustituir el uso de gas natural con carbón que es un combustible más contaminante (Comisión Nacional de Energía, 2014). Por otro lado, aunque las fuentes de energías renovables, aparte de la hidroeléctrica, ingresaron al mix energético chileno en 2007, su presencia continua disminuyendo durante el período bajo evaluación.

A pesar de su importante papel como sumidero de CO_{2-eq}, el sector forestal chileno no pudo compensar la creciente carbonización de la matriz energética chilena, aunque contribuyó significativamente a lograr el estado de "fuerte desacoplamiento" cuando se alcanzó esto. Este resultado brinda una oportunidad al sector forestal para ayudar a la matriz energética chilena a caminar hacia una de bajo carbono.

Esto sucede cuando la construcción de plantas de biomasa para la generación de electricidad alimentada por desechos proviene de bosques que reemplazan las plantas térmicas alimentadas por carbón. Este camino fue explorado en Colinet et al. (2014) con plantas de ciclo combinado y no implica ningún riesgo para la seguridad del suministro de electricidad.

Las plantas de biomasa parcialmente alimentadas por desechos provenientes de los bosques podrían ubicarse estratégicamente cerca de las áreas forestales y al lado de las plantas térmicas siguiendo la experiencia de El Hierro (en Canarias) en España (Bueno y Carta, 2006; Neves et al., 2014). Si bien hay materiales de desecho disponibles, las plantas de biomasa hacen innecesario el uso de carbón (más contaminantes) y las plantas térmicas permanecerán paradas.

Esta tecnología se puede administrar de manera planificada si hay materias primas disponibles; esto difiere de otras tecnologías RES no convencionales, como la eólica y la solar, que son "variables" y dependen de fenómenos naturales como la lluvia, el viento o la radiación solar (Sovacool, 2009). Reducir los niveles de generación de plantas térmicas instaladas significa reducir la dependencia de Chile de los proveedores extranjeros de carbón. Podría agregarse que el uso de los desechos del bosque como combustible para las plantas de biomasa reduciría el riesgo de incendios forestales.

Aunque el índice de Tapio sólo da una medida aproximada del proceso de desacoplamiento chileno, sus valores coinciden con los proporcionados por δ_t en la ecuación [14] durante la mayoría de los años. La Tabla 3 ofrece los resultados de la descomposición de segundo nivel realizada. Los esfuerzos realizados para lograr el desacoplamiento se pueden examinar a partir de estas figuras.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Tabla 3. Análisis de desacoplamiento de segundo nivel.

Periodo	δ_{CI}	δ_{RES}	δ_{EI}	δ_{ES}	δ_P	δ_t
92-91	-9.7	-0.5	16.5	-4.0	-0.2	2.1
93-92	64.4	0.0	-69.1	-1.2	-0.4	-6.3
94-93	-60.7	-0.6	54.7	1.0	-0.5	-6.2
95-94	-3.4	-0.2	1.0	-0.6	-0.2	-3.5
96-95	-1.3	-0.9	-0.6	1.2	-0.1	-1.7
97-96	-3.8	0.5	2.5	-1.0	-0.2	-2.0
98-97	27.3	-5.2	-25.4	1.0	-0.5	-2.7
99-98	182.7	51.5	-114.9	-39.5	6.5	86.3
00-99	12.3	3.4	-1.5	0.0	-0.4	13.8
01-00	-1.8	1.4	3.2	3.4	-0.5	5.6
02-01	-45.3	1.8	-7.1	1.5	-0.6	-49.6
03-02	14.3	-2.2	4.9	-0.8	-0.4	15.8
04-03	5.7	-0.9	-14.0	1.8	-0.2	-7.6
05-04	-1.5	2.4	-0.5	0.9	-0.2	1.0
06-05	-4.8	0.7	5.2	0.2	-0.2	1.1
07-06	-8.2	-7.8	-12.6	13.2	-0.4	-15.8
08-07	3.3	0.6	-4.0	0.4	-0.5	-0.1
09-08	-7.7	-0.8	-6.8	6.7	0.6	-8.0
10-09	16.9	-1.6	-8.9	-1.7	-0.3	4.4
11-10	-2.5	-0.9	-1.8	-0.5	-0.2	-6.0
12-11	3.5	0.4	-5.3	-1.5	-0.2	-3.2
13-12	3.7	-2.1	6.2	-2.3	-0.3	5.2

Fuente: Elaboración propia

Los principales hallazgos de la descomposición de segundo nivel nos dicen que el efecto inhibitor (δ_t) para el período bajo evaluación, no logró el desacoplamiento entre el crecimiento económico y las emisiones de CO_{2-eq} para la economía chilena, esto entendiendo el desacoplamiento en términos de lograr un crecimiento económico positivo con reducción de las emisiones de CO_{2-eq}, o al menos un aumento de las emisiones de CO_{2-eq} en valores absolutos inferiores a la tasa de crecimiento económico.

Los resultados de la Tabla 3 muestran que, aunque insuficientes, se hicieron los mayores esfuerzos en el uso de combustibles menos contaminantes (factor CI) y en la mejora de la eficiencia energética (EI). En el primer caso, los mayores esfuerzos coincidieron con los años de importación del gas natural argentino hasta su interrupción. Entre 2006 y 2007,

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

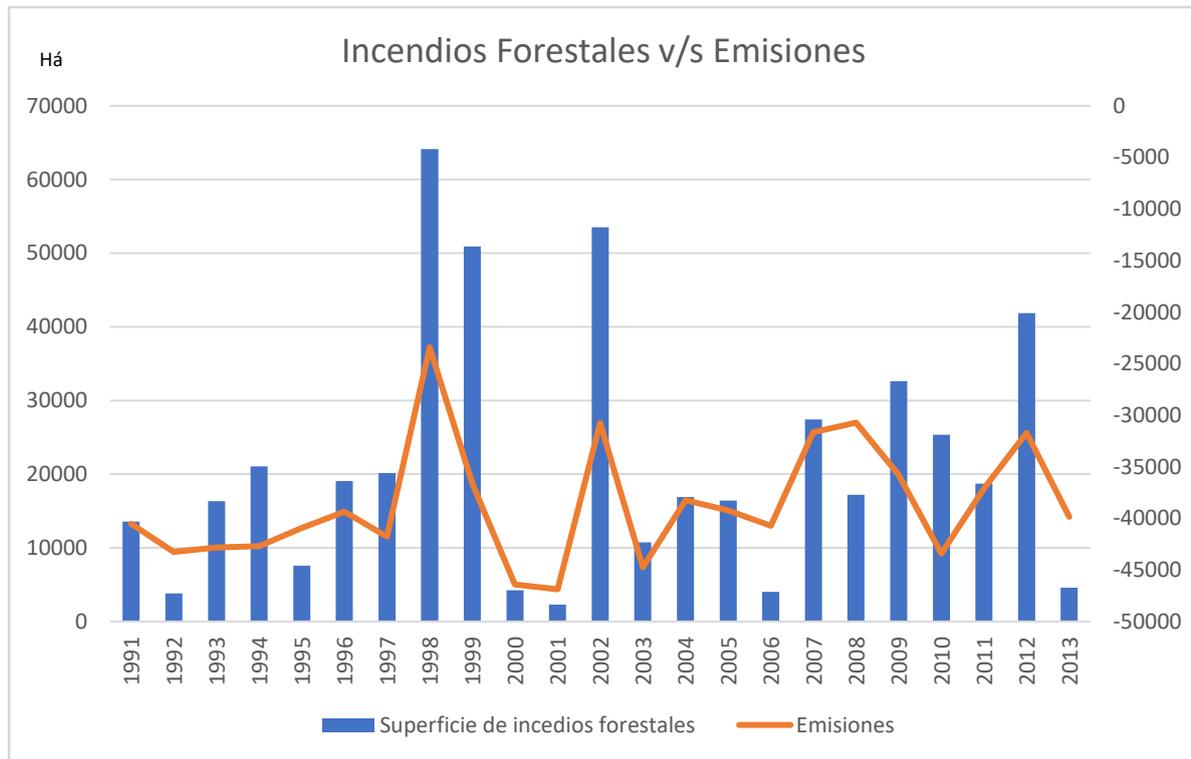
las importaciones de gas natural se redujeron en un 51,5% y entre 2007 y 2008 en un 72%. En estos últimos dos años, las importaciones de diesel aumentaron un 112%, mientras que las importaciones de carbón alcanzaron el 38,9% (IEA, 2017 b).

En el segundo caso, los resultados coinciden con la entrada en vigencia de iniciativas como el Programa de Eficiencia Energética del País instituido a principios de 2005 y que comenzó a operar a partir del 1 de diciembre de 2008 (CNE, 2008). La disminución de la intensidad energética también es un factor inhibitor de la emisión de carbono en Zhang et al. (2009) y en Zhang y Da (2015), pero sin llegar a frenarlo por completo. Ambas investigaciones utilizan conjuntamente LMDI y análisis de descomposición, pero no para Chile y sin considerar el sector forestal.

Cuando se realiza el análisis sectorial, los resultados proporcionan información interesante para el sector forestal. Esta información destaca la contribución del sector forestal al comportamiento de los factores de descomposición CI y EI mencionados como compensadores de las emisiones de CO₂-eq. Para la mayoría de los años incluidos en el período bajo análisis, el valor para el sector forestal es mayor que uno. El anexo 9 detalla los resultados sectoriales. Esto confirma la relevancia del sector forestal que ya ha sido demostrado por el análisis LMDI.

La discusión de lo anterior se refuerza cuando se quema el área forestal y las emisiones de CO₂-eq de la economía chilena se muestran juntas. Esto es lo que hace la Figura 2. La variación interanual observada en el balance de GEI de Chile, con máximos en 1998 y 2002, se debe principalmente a la influencia de los incendios forestales (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Muchos de estos incendios han degradado el bosque nativo, especialmente en la última década (Molina et al., 2017). La Tabla A.2 ofrece una información detallada de los incendios forestales Emisiones de CO₂-eq.

Figura 2. Superficie de incendios forestales (Has) v/s emisiones de CO₂-eq (Gg) 1991-2013.



Fuente: Elaboración propia

En resumen, los resultados del segundo nivel de descomposición indican que los esfuerzos para desacoplar las emisiones de CO₂-eq del crecimiento económico han sido insuficientes, aunque el sector forestal se revela como un sector marcadamente inhibitorio cuando se realiza un análisis sectorial.

3.1.4.- Discusión

Aunque la importancia del sector forestal como sumidero de las emisiones de CO₂ depende de la naturaleza y las acciones antropogénicas pasadas (a favor o en contra de la conservación), las acciones antropogénicas actuales y futuras son decisivas para definir el papel futuro del sector forestal. Tanto los resultados del análisis LMDI como el segundo nivel de descomposición muestran la importancia del sector forestal al determinar la responsabilidad de Chile en el proceso de calentamiento global. Este es un resultado clave no solo para el diseño de medidas nacionales orientadas a la mitigación, sino también con respecto a los acuerdos internacionales en la batalla contra el cambio climático en los que estaría involucrado.

A la luz de los resultados del análisis LMDI, el análisis de descomposición, la Figura 2 y la Tabla A.2, se deben recomendar esfuerzos adicionales en la prevención de incendios forestales y la restauración a corto plazo de las áreas afectadas. Estas acciones deberían incluirse en las tareas de protección del hábitat y restauración de hábitats degradados establecidas por el Plan de adaptación al cambio climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2014). Actualmente, la mayoría de las acciones de reforestación están orientadas a usos productivos y permiten conciliar la actividad económica con el papel de la silvicultura chilena como sumidero de emisiones de CO₂ (CORMA, 2014; ODEPA, 2010). Otra actividad en la que es posible compatibilizar la reforestación con la actividad económica es la silvicultura. La silvicultura sostenible puede reducir las emisiones sin afectar el crecimiento económico (Dixon et al., 1993; Sathaye y Ravindranath, 1998).

Junto con las acciones de reforestación, hay espacio para mejorar el manejo forestal de los bosques nativos de Chile. El potencial de los ecosistemas forestales nativos, especialmente las energías renovables, es mayor que las plantaciones exóticas, ya que es un recurso que siempre mantiene un stock permanente de madera, fijando CO₂, en sentido contrario a las plantaciones que se manejan en rotaciones de tala clara. Además, los procesos de intervención en el bosque nativo, especialmente los cortes intermedios que se llevan a cabo con el propósito de limpiar y mejorar la calidad productiva de los bosques, promueven un aumento en su biomasa al aumentar directamente su capacidad de fijación. Todo lo anterior, junto con su mayor superficie, coloca a los bosques nativos como el principal contribuyente en la fijación de CO₂.

Se debe proporcionar un mayor detalle de las especies nativas. Tanto Coigüe, Roble y Raulí han sido identificados como las especies nativas que generan más CO₂ cada año entre las especies en los bosques templados de Chile. Esto se debe a su rápido crecimiento (Gayoso, 2001; Gayoso y Guerra, 2005; Moreno-García et al., 2011). Entre ellos, la mayor contribución proviene de la Coigüe, que, debido a que es perenne, permanece con una mayor fijación de biomasa durante todo el año y hay árboles de mayor volumen en los bosques.

Actualmente hay aproximadamente 4,3 millones de hectáreas de energías renovables donde el tipo de bosque principal es el Roble-Raulí-Coigüe. Este tipo de bosque se puede gestionar de manera sostenible para usos múltiples o individuales (madera, leña, productos forestales no maderables, ecoturismo o el mercado del carbono, entre otros). Además, Chile

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

tiene casi 9 millones de hectáreas de bosques adultos y bosques atrofiados que también contribuyen a la fijación y que presentan posibilidades de gestión de servicios ambientales, contemplación del paisaje –Turismo- y productos forestales no maderables.

3.1.5.- Conclusiones y recomendaciones para futuras políticas

Para analizar la importancia del sector forestal en el cambio de emisiones de CO₂-eq en Chile, se realizó un análisis de descomposición de la variación de emisiones y un análisis de los esfuerzos realizados en este sector para mejorar su contribución al proceso de desacoplamiento entre estas emisiones y el crecimiento del PIB. El análisis se ha llevado a cabo durante los años 1991-2013.

Los principales hallazgos del análisis LMDI para el sector forestal chileno y el análisis de descomposición de segundo nivel revelan que claramente logra actuar como un inhibidor pero no supera el papel negativo (“driver”) desempeñado por el resto de sectores considerados. Particularmente importante es el comportamiento de este sector como inhibidor de los factores de población e ingresos que se comportan como un claro impulsor de las emisiones de CO₂-eq durante el período considerado. A pesar de su papel como compensador de estos factores no puede evitar que las emisiones de CO₂-eq aumenten durante la mayoría de los años analizados. El sector forestal se revela como un sector relevante.

Los resultados muestran que Chile tampoco ha alcanzado el desacoplamiento entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂-eq y que se ha convertido en una economía fuertemente carbonizada en la que las emisiones de CO₂-eq han mostrado un nivel de aumento más alto que el del crecimiento económico. Sin embargo, en algunos años, la economía ha alcanzado una situación de desacoplamiento. En esos años, el sector forestal siempre ha contribuido al desacoplamiento. Además, en este segundo análisis, el sector forestal se revela como un sector relevante, aunque los esfuerzos realizados para mejorar su papel como sumidero de las emisiones de CO₂ no han sido suficientes para lograr el desacoplamiento.

A pesar de que las autoridades chilenas incluyeron acciones de mitigación específicas

enfocadas en el sector forestal, cuando se comparan estas acciones con aquellas enfocadas en los otros sectores incluidos en el análisis LMDI, revelan claramente insuficientes. El reciente informe de actualización bienal presentado por el Gobierno de Chile a la CMNUCC el 21 de abril de 2017 muestra claramente esa diferencia. Para contribuir a resolver esta escasez, se proporcionan algunas recomendaciones adicionales a la luz de los resultados obtenidos.

En primer lugar, se recomienda que las autoridades chilenas incluyan en sus compromisos internacionales el análisis y la gestión de los cambios en el sector forestal a través de las actividades de UTCUTS. Si los compromisos internacionales sobre cambio climático suscritos por Chile no incluyen obligaciones en el desarrollo y protección del sector forestal, serán claramente incompletos. Por supuesto, esto no significa excluir de las acciones de mitigación otros sectores que se han revelado como contaminantes claros. Lo que sí muestra es que el sector forestal debe ser parte de estos compromisos internacionales.

En segundo lugar, debido al papel del sector forestal como inhibidor cuando se realiza un análisis sectorial de los dos impulsores claros -P e Y_p- de las emisiones de CO₂-eq, cada acción que mejore este sector iría directamente en contra de estos impulsores medios que reducen el estrés ambiental causado por ellos. Esto da sentido a cualquier esfuerzo adicional orientado al sector forestal en relación con su efectividad potencial. Es así que recomendamos a las autoridades chilenas que fomenten los procesos de reforestación y restauración de manera más intensiva, especialmente teniendo en cuenta las pérdidas de incendios forestales en los últimos años. En particular, se recomienda fortalecer el manejo forestal de los bosques nativos, principalmente la reforestación donde el Robledal es Roble-Raulí-Coigue, que tiene la posibilidad de ser manejado de manera sostenible para usos múltiples o individuales, madera, leña, no -productos forestales de madera, ecoturismo o para el mercado del carbono entre otros. Para garantizar la contribución constante de los ecosistemas forestales a la fijación de CO₂, se recomienda mejorar la gestión integrada de los ecosistemas forestales, entendiendo esto como el uso múltiple del bosque, no solo como productor de madera, sino también de productos forestales no maderables y servicios de ecosistemas como la contemplación del paisaje asociado al turismo, y generar ecosistemas forestales que tengan un mayor volumen permanente de biomasa que reforzaría su importancia como sumideros de CO₂. Además, esta visión justifica las medidas políticas destinadas a prevenir y combatir los incendios forestales. Para llevar a cabo todas las

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

actividades propuestas, es necesario mejorar la actual Ley de bosques nativos en Chile, mejorando la gestión, restauración y reforestación de los bosques nativos.

Tercera recomendación derivada del estado frecuente de “Desacoplamiento negativo expansivo”, revelado por los resultados que se explicaron al considerar que la matriz energética chilena se basa en gran medida en el uso de combustibles fósiles. Esto da una oportunidad a las plantas de biomasa para la generación de electricidad alimentada por residuos provenientes del bosque que reemplaza a las plantas térmicas alimentadas por carbón. Nuestra recomendación es establecer un objetivo obligatorio para el despliegue de tales plantas en términos de megavatios instalados en la política energética chilena. Esta tecnología se puede gestionar de manera planificada reduciendo i) la dependencia de Chile de proveedores extranjeros de carbón y ii) el riesgo de incendios forestales. Con respecto a los resultados del análisis de descomposición de segundo nivel durante la mayoría de los años analizados, el valor para el sector forestal fue mayor que uno, por lo que este sector podría ayudar a frenar el estado de acoplamiento de la economía chilena, haciendo que su matriz energética sea baja en carbono.

Con esto acaba la presentación de los resultados de nuestro primer artículo, a continuación procedemos a presentar los resultados referidos a la segunda publicación.

3.2. Salud y calefacción en la ciudad de Temuco (Chile). Análisis de costes y beneficios de reemplazar la biomasa con el sistema FV en el sector residencial

3.2.1. Introducción

El sector residencial en Chile es muy intensivo en el uso de leña para calefacción. A mediados de la década de 1990, el 85% de los hogares urbanos consumían leña (Kausel y Vegara, 2003). Actualmente, el 80% de los hogares en la ciudad de Temuco, en la cual se centra esta investigación usa leña para calefacción (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

En 2013 (últimos datos disponibles en el momento de realizar la investigación), el consumo total de leña en Chile fue de 56,219.5 teracalorías (Tcal) de las cuales el 62.6% correspondieron al sector residencial (Comisión Nacional de Energía, 2014).

Para satisfacer esta demanda se requirieron 10,074.1 toneladas de leña, lo que causó estrés ambiental en el área forestal chilena. Si tomamos en cuenta que esta área representa el 22.9% del área total del país (17.3 millones de hectáreas) y actúa como un gran sumidero de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Cansino y Moreno, 2017) vemos la pérdida ambiental que esto produce.

Smith (2006) ofrece una visión panorámica interesante del impacto negativo de la contaminación del aire y particularmente del uso de madera para calentar hogares en la salud y seguridad vial. Además de las emisiones de CO₂, la combustión incompleta de biomasa sólida para calefacción (principalmente leña) emite básicamente monóxido de carbono, pero también benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poliaromáticos y muchos otros compuestos peligrosos para la salud, entre los que destacan las partículas en suspensión (Smith, 2006; Wielgoński et al., 2017; Williams et al., 2012).

La evidencia básica sobre los efectos de las partículas en la salud se resume en (Kim et al., 2015), quienes muestran estudios de casos interesantes centrados en enfermedades causadas por la contaminación ambiental de partículas (Pablo-Romero et al., 2015; Román-Collado y Jiménez de Reyna, 2018).

La contaminación del aire de los hogares a partir de combustibles fósiles y la contaminación ambiental por partículas, actúan como factores de riesgo de cardiopatía isquémica, accidente cerebrovascular, bronquio traqueal y cáncer de pulmón, infecciones de las vías respiratorias inferiores, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y diabetes mellitus.

Su impacto en la salud puede evaluarse midiendo el número de muertes que le son atribuibles. Alternativamente, se puede evaluar midiendo el número de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) causadas por estos factores de riesgo en la población. Un AVAD puede considerarse como un año de vida "sana" perdida, y su valor monetario revela información útil para un mejor diseño de políticas de mitigación y salud en términos de asignación de recursos.

Adicionalmente, áreas expuestas al fenómeno meteorológico denominado inversión térmica y que presentan contaminación del aire (principalmente material particulado ambiental) aumentan el riesgo de accidentes de tráfico. La inversión térmica es un fenómeno meteorológico asociado con la presencia de altas montañas que rodean una ciudad y las bajas temperaturas en invierno.

Uno de los efectos principales de la inversión térmica es que atrapa la contaminación del aire, como el smog, cerca del suelo. Esto es lo que ocurre en ciudades como Temuco (W72 ° 35'54.31 ", S38 ° 44'22.74") en el sur de Chile, ciudad de alrededor de 235.000 habitantes.

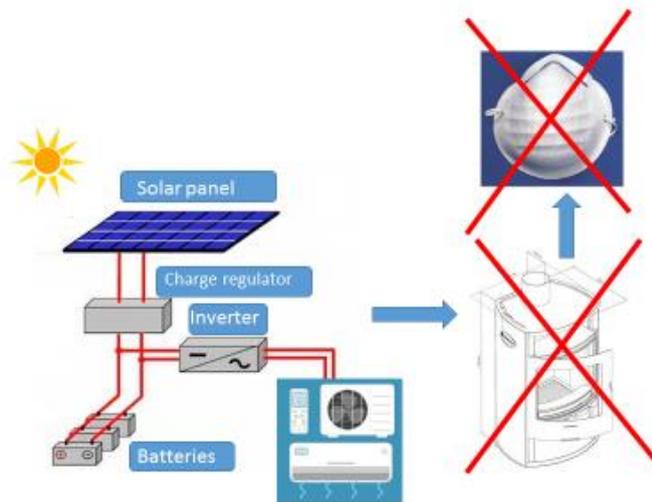
Las autoridades chilenas clasifican su territorio en siete zonas térmicas diferentes, dependiendo de los requisitos de calefacción para que los hogares alcancen un estándar de confort de 20°C. Temuco pertenece a la zona térmica 5 que la identifica como una ciudad sujeta a clima frío (Armijo et al., 2013).

Debido a la emisión de contaminantes causados por la combustión, la sustitución de la leña por calefacción con sistemas alternativos no contaminantes sería beneficiosa tanto para la salud como para la seguridad vial. Recientemente, la Ley General de Servicios Eléctricos 20.571 de Chile, facilita la instalación en el sector residencial de sistemas eléctricos de autogeneración basados en energías renovables no convencionales (ERNC).

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

En este sentido, la tecnología más extendida a nivel de mercado consiste en el uso de paneles solares fotovoltaicos (FV). La energía generada por estos paneles puede almacenarse parcialmente en baterías instaladas en el hogar (sistema FV + almacenamiento), lo cual facilita el reemplazo de estufas domésticas de leña por sistemas de generación y almacenamiento FV + evitando las emisiones contaminantes de la combustión de leña asociada con la calefacción (Figura 3).

Figura 3. Sustitución de estufas de leña por un sistema fotovoltaico (FV) para la generación de electricidad utilizando sistema de baterías de almacenamiento (FV + almacenamiento)



El objetivo de esta investigación fue llevar a cabo un análisis integral de coste-beneficio de reemplazar la calefacción en base a domésticas de leña por energía producida por sistemas de FV + libres de emisiones contaminantes.

Los beneficios se derivan de la ausencia de emisiones contaminantes debido a la reducción de la quema de madera, la reducción de la deforestación, la disminución de los daños a la salud y los accidentes de tráfico.

Al calcular los beneficios, se consideraron las emisiones de CO₂ derivadas de la fabricación y el transporte (Arcos-Vargas et al., 2018). Los costes se asocian con la compra de sistemas FV +.

El impacto de la contaminación del aire de los combustibles fósiles y las partículas

ambientales en la salud se evalúa tomando tanto AVAD y las muertes atribuibles como tópicos centrales en los resultados proporcionados por la herramienta interactiva GDB Compare (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018a). El valor monetario se calcula siguiendo dos enfoques complementarios; el valor de la vida estadística (VVE) y el enfoque del capital humano (ECH). Debido a la disponibilidad de datos, 2013 se utiliza como año de referencia.

A pesar del uso extenso de los AVAD como método de análisis en el campo de la economía de la salud, su uso en campos como la economía ambiental o la economía de la energía ha sido limitado, por lo tanto, esta es una de las novedades de este documento. Hasta donde sabemos, no existe ninguna investigación previa que lleve a cabo un análisis de coste-beneficio de la introducción de tecnología limpia no convencional (sistemas FV+) que reemplace el uso convencional de biomasa para calefacción en función del impacto en la salud y la ausencia de emisiones de CO₂.

Este artículo contribuye a llenar este vacío en la literatura. Además, este documento no adopta el supuesto de extendido en la literatura que establece que la combustión de biomasa es neutral en términos de CO₂. Alternativamente, utilizamos un factor de emisiones específico para la combustión de leña y un factor más bajo para establecer la fijación de CO₂ a través de fotosíntesis.

A continuación se presentan la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas en esta investigación, incluyendo en el ítem conclusiones algunas recomendaciones para nuevas políticas de desarrollo en el tema tratado.

3.2.2. Metodología

En esta Sección se describe el método aplicado para la valoración monetaria del daño a la salud y la fuente de datos utilizados. La sección finaliza explicando la valoración monetaria de emisiones evitadas por el cambio de matriz energética.

3.2.2.1.- Valoración de costes

Los sistemas fotovoltaicos instalados en casas alimentan bombas de calor accionadas eléctricamente. El sistema se optimiza cuando se incorporan baterías para

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

almacenar la electricidad generada pero no consumida instantáneamente (Figura 3). Cuando este reemplazo se realiza en una casa se evita la emisión de contaminantes derivados de la combustión de leña. Sin embargo, debido a los requisitos de instalación, no todas las viviendas permiten la instalación de un sistema FV + estándar.

También se debe tener en cuenta que cuando la superficie de la casa es muy grande, la capacidad de calefacción de un sistema FV + estándar puede ser insuficiente. Actualmente, el más utilizado es Solar Kit 5.000W, 48V con capacidad para generar 16.000 kWh/día. Las características principales se resumen en la Tabla 4 suponiendo una vida útil de 20 años.

Tabla 4. Sistema de almacenamiento FV + estándar.

	Características	Costos unitarios (USD 2013)	Nº de unidades requeridas	Costo total del ítem (USD 2013)
Panel solar	policristalino 330W 24V, 1956mm x 992mm, eficiencia de la celda 17.01%, 20 kg de peso	343.4	10	3,434.3
Cargador inversor + regulador	58 kg			2,222.2
Baterías	ROLLOS 12V plomo ácido 360Ah: 60 kg de peso	888.8	8	7,111.1
Estructura				303.0
Cables para instalaciones y accesorios fotovoltaicos:	1 distribuidor y caja de conexiones de panel			707.0
Costo anual de operación y mantenimiento (O&M)				372.6
Costo total				14,151.5

Fuente: (COSMOPLAS, n.d.)

El sistema FV + elegido para esta investigación tuvo en cuenta las características específicas de la ciudad de Temuco. El número óptimo de paneles se determina aplicando la ecuación (15):

$$\begin{aligned} & \text{Número de paneles FV} \\ & = \frac{\text{Consumo de energía} \times \frac{\text{Días de la semana en funcionamiento}}{7}}{\text{HSP} \times \mu \times \text{Capacidad instalada por panel}} \end{aligned} \quad (15)$$

Donde el consumo de energía es el consumo total de electricidad requerido por las divisiones de calefacción. Asumimos dos “splits” por hogar funcionando 6 horas por día durante toda la semana. HSP representa las horas radiación solar pico. Siguiendo la herramienta proporcionada por el Departamento de Energía de Chile (Ministerio de Energía, 2019), la radiación anual global escalada para la ciudad de Temuco es de 4.71 kWh / m² / día.

A medida que se comienzan a registrar bajas en las temperaturas en los meses más fríos, el sistema de almacenamiento permite contar con energía para la calefacción necesaria. La HSP para los meses de otoño e invierno varía de 4.81 (marzo) a 1.56 (junio). El anexo 10 detalla las HSP para la ciudad de Temuco por mes y por día. μ es el coeficiente de pérdida. Asumimos un valor de 0.6, lo que significa un 40% de pérdidas debido a paneles, dispositivos inversores, baterías y acumuladores.

La ecuación determina el número óptimo de baterías (16):

$$\begin{aligned} & \text{Número de baterías} \\ & = \frac{\text{Consumo de energía} \times \text{días}}{\text{PdB} \times \text{tensión}} \times (1 + \text{coeficiente de pérdida}) \end{aligned} \quad (16)$$

En este caso, se consideran 5 días de uso de baterías. Los anexos 11 y 12 contienen datos de días nublados y cubiertos en la ciudad de Temuco por horas, días y meses. PdB es la profundidad de descarga de las baterías (50% en el caso de baterías de plomo), la tensión supuesta es de 12 V y se tiene en cuenta un coeficiente de pérdida del 15%.

El sistema FV + se pone en funcionamiento cuando la temperatura exterior cae por debajo de 18 ° C o 15 ° C. Estos días son denominados días de grado de calentamiento

DGC. Los requisitos técnicos para la instalación y su capacidad de calefacción lo hacen óptimo para hogares cuya superficie habitable varía entre 51 y 70 m². El número de viviendas de Temuco incluidas dentro de este rango es de 12,388, lo que representa el 41.7% del total de viviendas.

El DGC es una medida diseñada para cuantificar la demanda de energía necesaria para calentar un edificio. El DGC se deriva de mediciones de la temperatura del aire exterior. Suponemos que es necesaria una calefacción confortable estándar cuando la temperatura del aire exterior cae por debajo de 18 o 15 grados centígrados. Se consideran ambos niveles de temperatura para proporcionar un análisis sensible.

3.2.2.2.- Valoración monetaria de daños a la salud

La herramienta interactiva GDB Compare proporciona información sobre dos tipos de contaminación que dañan la salud. Estos son la contaminación del aire por parte de los hogares a partir de combustibles fósiles y la contaminación de partículas en el ambiente. Suponemos que la combustión de leña provoca emisiones de CO₂ en interiores que deben considerarse como parte de la "contaminación del aire provocada por los combustibles fósiles utilizados en hogares", a pesar de que la leña no es un combustible fósil, estos actúan como un recurso energético similar a otros combustibles fósiles. La combustión de leña, causa contaminación ambiental de partículas.

El Año de Vida Ajustado por Discapacidad (AVAD, DALY por su acrónimo en inglés) junto con las muertes atribuibles son dos medidas extensivas de la brecha de salud. El concepto AVAD fue desarrollado para el estudio de la Carga global de enfermedad (CGE cuya sigla en inglés es GBD) por un conjunto de entidades, el Banco Mundial, la Escuela de Salud Pública de Harvard y la Organización Mundial de la Salud (OMS) a fines de la década de 1980 (Murray y Lopez, 1996; Murray et al., 1994; Murray y Acharya, 1997; Murray y Lopez, 1997).

El AVAD mide tanto la mortalidad como la morbilidad y las combina en una sola cifra proporcionando una herramienta basada en evidencia para la priorización de políticas de salud y para monitorear los efectos de sus intervenciones (Oostvogels et al., 2015). La herramienta interactiva CGE Compare proporciona información para una extensa lista de factores de riesgo de enfermedad en términos de AVAD y muertes

atribuibles (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018a).

Varios estudios detallan los métodos para calcular la valoración monetaria de los impactos en la salud de los factores de riesgo (Kirigia y Mwabu, 2018; Murray, 1994; WHO, 2017). En este sentido, la literatura disponible ofrece dos métodos principales que pueden usarse para valorar el impacto en la salud en términos monetarios.

El primero se basa en la voluntad individual de pago (VIP) para un año de vida estadístico. El enfoque VIP también se denomina criterio del valor de la vida estadística (VVE). VVE es entonces una medida del coste de mortalidad derivado de la agregación de la voluntad individual de pago (VIP) en una sociedad (Hall et al., 2006; Román-Collado y Jiménez de Reyna, 2018).

Es decir se tiene en cuenta el número de muertes atribuibles a un factor de riesgo, por lo que el VVE es un enfoque centrado entonces las consecuencias de un factor de riesgo para la salud. Para ello, un elemento útil es la herramienta interactiva GDB Compare que proporciona resultados no solo en términos de años de vida ajustados por discapacidad, sino también en términos de muertes atribuibles a diferentes factores de riesgo.

Las muertes atribuibles a la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles sólidos, se valoraron además en términos económicos por género al multiplicarlas por el valor VVE para Chile hasta 2013, con la ecuación (17).

$$\text{Enfoque VVE de valoración monetaria} = \sum_{i=1}^5 (CGE_i \times \omega_j \times R_j \times P \times VVE) \quad (17)$$

Donde CGE_i mide el CGE atribuible a i que representa las distintas afecciones de salud registradas (cardiopatía isquémica, accidente cerebrovascular, traqueobronquial y cáncer de pulmón, infecciones de las vías respiratorias inferiores, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y diabetes mellitus). R_j es el factor de riesgo del contaminante j (contaminación ambiental por partículas y contaminación del aire en el hogar de combustibles fósiles). P es la población de la ciudad de Temuco en 2013 y VSL se mide

en USD 2013.

Un segundo método aplicado para calcular la valoración monetaria es la pérdida de producción o el enfoque de capital humano (ECH). Aquí se mide la contribución económica anual de un individuo como el PIB per capita, los años perdidos por discapacidad o muerte son años que no son productivos.

Para determinar ECH, primero se calcula el valor monetario AVAD multiplicando un valor del PIB estandarizado per capita por el número total de AVAD, siendo el valor de AVAD la suma de los años de vida perdidos debido a la mortalidad prematura en la población, los años perdidos por discapacidad y por incidentes de enfermedades o condiciones de salud (Dalal y Svanström, 2015).

Debido a que este enfoque ha sido criticado en la literatura (Kirigia y Mwabu, 2018), decidimos aplicar una versión refinada de ECH considerando el gasto en salud con el fin de proporcionar hallazgos más específicos. La aplicación de este segundo enfoque posibilita la estimación del valor monetario del impacto sobre la salud causado por la contaminación de partículas en el ambiente y la contaminación del aire de los hogares por la quema de combustibles fósiles.

En este caso multiplicamos el número de AVAD por gasto neto de salud per capita en Chile (tanto corriente como capital) medido en USD 2013 (WHO, 2017). A través de la ecuación (18) que se muestra a continuación.

$$\text{Enfoque de valoración monetaria ECH} = \sum_{i=1}^5 \{ (CGE_i \times \omega_j \times R_j \times P) [PIB_{pc} - (GSCTE_{pc} + GSCAP)] \} \quad (18)$$

El PIB_{pc} es el Producto Interno Bruto chileno per capita en 2013, GSCTE_{pc} el gasto corriente de salud per capita chileno y GSCAP_{pc} el gasto de salud de capital chileno per capita. Todas las variables monetarias se miden en USD 2013.

Ambos criterios descritos anteriormente deben usarse con precaución, sin atribuir

todas las emisiones de combustibles fósiles y material particulado ambiental a la combustión de leña. Debe tomarse en cuenta la diversidad climática del país para determinar la porción de energía consumo de hogares chilenos correspondientes a leña.

En este sentido, un análisis exhaustivo realizado por Romero (2011) basado en una muestra de hogares urbanos correspondientes a tres ciudades; área metropolitana (zona 2), Valparaíso (zona 3) y Concepción (zona 4), muestra que, para la ciudad de Concepción, el 51% del consumo de energía en una vivienda típica fue para calefacción a leña (4,776 kWh / año).

En virtud a lo señalado y tomando en cuenta que Concepción es la ciudad es la más similar al clima de Temuco (zona 5) (Armijo et al., 2013), suponemos conservadoramente para nuestro estudio que el 51% del impacto en la salud causado por la contaminación del aire de los hogares a partir de combustibles fósiles se debe a la combustión de leña. Esto corresponde al ω_2 en la ecuación (17) y (18).

En relación a la porción de impacto en la salud que corresponde a las partículas ambientales emitidas por la combustión de leña, los valores considerados son para las emisiones promedio de PM_{2.5} (94%) y para las de PM₁₀ (82%) (Ministerio del Medio Ambiente, 2015). Esto corresponde al ω_1 en la ecuación (17) y (18).

Finalmente, dado que la contaminación ambiental por partículas también aumenta los accidentes de tránsito en ciudades como Temuco debido a la inversión térmica, se realiza una valoración monetaria de las víctimas. Las autoridades de Temuco solicitaron que esta ciudad fuera declarada como un área saturada de partículas ambientales y, por lo tanto, fue reconocida como PM₁₀ en 2005 y PM_{2.5} en 2013 (Burschel et al., 2003; Ministerio del Medio Ambiente, 2015). En 2018 entró en vigor el Plan de descontaminación del aire para PM 2.5.

Con respecto a la accidentabilidad asociada los valores monetarios de los accidentes automovilísticos se estimaron multiplicando el número de víctimas en la ciudad de Temuco atribuible a la contaminación ambiental por partículas por el coste interno y externo (Reyes, 2016). Los autores distinguieron entre muertes, lesiones graves y lesiones leves. También distinguieron entre costes internos y externos. Los costes internos incluyen gastos médicos, daños materiales y también VIP para reducir el riesgo

de accidentes. Los costes externos incluyen daños a la propiedad a terceros, gastos de atención médica, gastos de policía, gastos administrativos y judiciales, y el coste actual del valor neto para las arcas del estado por la pérdida de las contribuciones de las víctimas (Alcoholado y Rizzi, 1999; Rizzi, 2005). La ecuación (19) se utiliza para calcular los valores monetarios de los accidentes automovilísticos.

$$\text{Valor monetario de accidentes de tráfico} = \left\{ \sum_{i=1}^3 \text{Accidente}_i \times (\text{Costos internos} + \text{Costos externos}) \right\} \quad (19)$$

El número de daños en la ecuación (19) incluye muertes, lesiones graves y lesiones menores. Los costes internos y externos se miden en USD 2013 a partir de la información disponible en Reyes (2016).

3.2.2.3.- Beneficios de valoración monetaria de emisiones evitadas

Debido a su mayor accesibilidad, el tipo de leña más utilizado en la ciudad de Temuco es la leña de eucalipto. Para calcular las emisiones de CO₂ y las partículas ambientales se han asignado factores de emisión. Los factores de emisión para la leña de eucalipto son 129.1 grs CO₂ / kg y 10.9 grs PM₁₀ / kg (SICAM, 2014).

La condición de operación considerada en el documento para determinar el factor de emisión supone que la combustión se realiza con un conducto de chimenea medio y cerrado. El tipo de leña considerada era leña seca (Hbs ≤25%).

Para determinar la capacidad calorífica de la madera se tuvo en cuenta su densidad -520 Kg / m³- (Espina, 2006; Ministerio de Energía, 2015), y capacidad de generación eléctrica (4,6 kWh / gr) (Ministerio de Energía, 2018).

Las necesidades de calefacción de los hogares se calculan en función del enfoque de DGC. Los requisitos de madera para la calefacción son diferentes según el tamaño de

la casa considerada. Este documento analiza la vivienda de Temuco clasificándola en un rango de viviendas que va desde los 35 m² a aquellas con una superficie de más de 140 m² (ver anexo 18).

Junto con las emisiones contaminantes derivadas de la combustión de leña, la tala de árboles necesaria para suministrar la leña reduce la capacidad de la superficie del bosque para actuar como sumidero. Para calcular la cantidad de CO₂ no fijado debido a la tala de eucalipto se ha utilizado su tasa de fijación. Este factor es 3.67 grs CO₂ / kg (SICAM, 2014).

Este enfoque es diferente del que la literatura suele indicar. Normalmente se considera que la combustión de biomasa es neutral en términos de emisiones dado que el CO₂ emitido es equivalente al fijado por la fotosíntesis (Masera Cerutti et al., 2011). En este artículo, usamos un factor de emisión de combustión (129.1 grs CO₂ / kg) mayor que la tasa de fijación para la fotosíntesis (3.67 grs CO₂ / kg). Este enfoque metodológico es más estilizado que el utilizado habitualmente en la literatura y expresa mejor el efecto del estrés ambiental causado por la tala de árboles para su uso como leña para calefacción.

Nuestro enfoque está en línea con el hecho de que en 2002 la región de La Araucanía (IX Región de Chile a la que pertenece la ciudad de Temuco) perdió su condición de sumidero neto debido a la importante área forestal perdida como resultado de los incendios (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

La proyección de instalación de sistemas de almacenamiento FV + permite calcular la reducción de emisiones al comparar dos escenarios. El escenario de referencia considera que el 80% de los hogares incluidos en el rango de superficie de 51 a 70 m² usan estufas de leña con eucalipto (*Eucalyptus globulus*) como combustible para calefacción (Corporación Nacional Forestal, 2015). En el escenario final, se supone que el 100% de estos hogares reemplazan las estufas con sistemas de almacenamiento FV +, evitando las emisiones contaminantes.

Al comparar el volumen total de emisiones de ambos escenarios es posible calcular los coeficientes de reducción de emisiones (tanto la contaminación del aire de los hogares por los combustibles fósiles como las partículas ambientales). En virtud de los valores de estos coeficientes de reducción se podrá visualizar como se reducirá el valor económico

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

del impacto de las emisiones contaminantes en la salud y los accidentes de tránsito.

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de reducción } CO_2 \\ &= \frac{H_{51-70} \times F_i \times DGC_i \times (CO_2 \text{ emitido} - CO_2 \text{ no fijado})}{H_T \times F_i \times DGC_i \times (CO_2 \text{ emitido} - CO_2 \text{ no fijado})} \end{aligned} \quad (20)$$

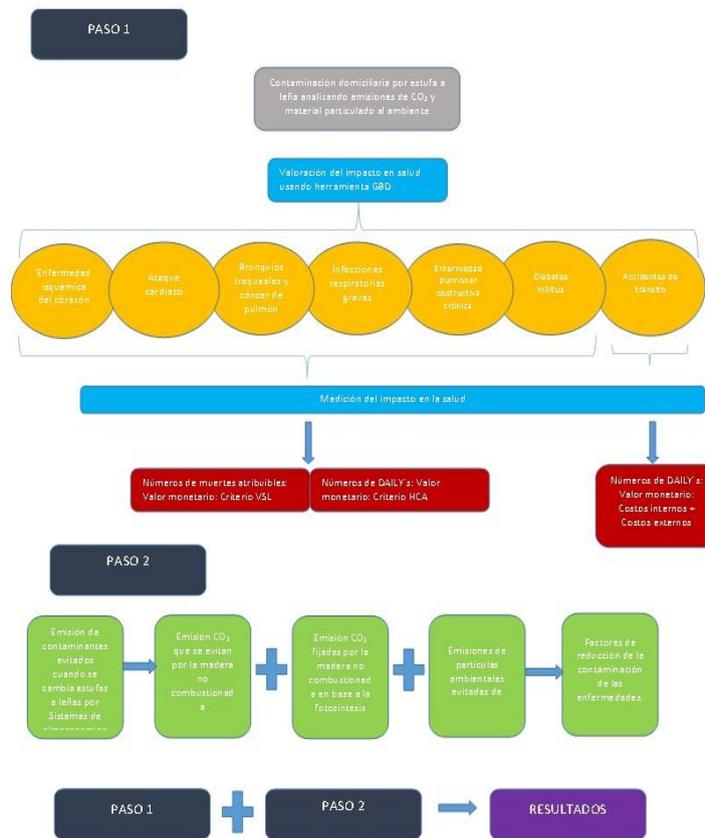
$$\text{Coeficiente de reducción } MP = \frac{H_{51-70} \times F_i \times DGC_i \times (MC \text{ emitido})}{H_T \times F_i \times DGC_i \times (MC_{emitido})} \quad (21)$$

Un análisis estilizado de las emisiones de CO₂ evitadas requiere el cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas con la fabricación, el transporte y la instalación de sistemas de almacenamiento FV + utilizando el Análisis del ciclo de vida (ACV) (De Wild-Scholten, 2013; Frischknecht et al., 2015; Raugei y Frankl, 2009).

A continuación la Figura 4 resume la secuencia principal de pasos metodológicos descritos anteriormente.

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

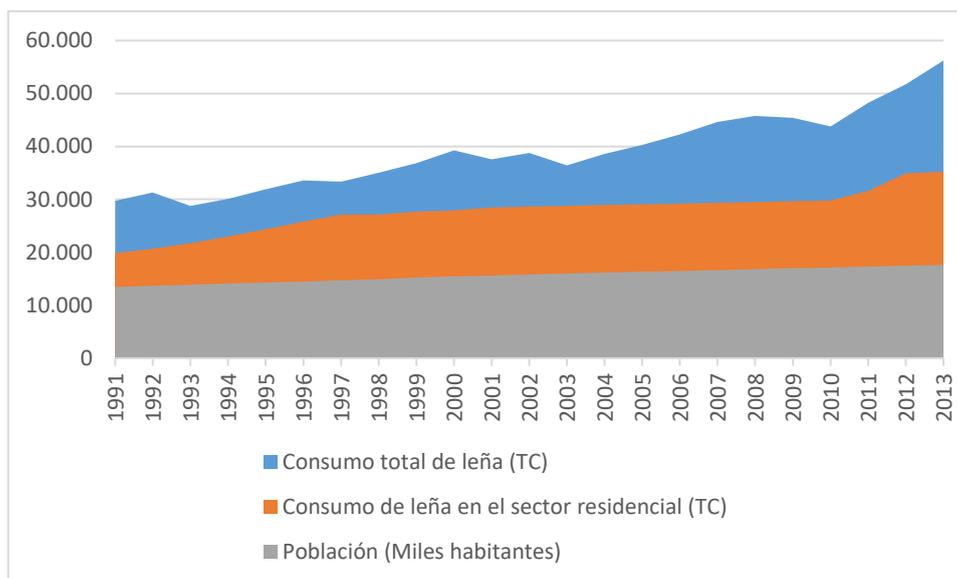
Figura 4. Secuencia principal de pasos metodológicos.



3.2.2.3. Base de datos

Los datos sobre el consumo de leña en Chile fueron extraídos de los balances energéticos nacionales que proporcionan estos datos hasta 2013. A partir de ese año, la serie se interrumpe sin proporcionar datos para los años siguientes a pesar de haber sido solicitados. Para el período 1991-2013, la Figura 5 muestra que la tendencia del consumo de madera en Chile está creciendo y está vinculada al crecimiento de la población.

Figura 5. Consumo de leña y población.



La herramienta interactiva GDB Compare se utiliza para calcular el impacto en la salud de las partículas en suspensión y la contaminación de los combustibles fósiles. (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018a).

GBD Compare es una herramienta interactiva de análisis, con estimaciones actualizadas de la salud mundial para 359 enfermedades y lesiones y 84 factores de riesgo entre 1990 y 2017. El GBD Study 2017, coordinado por el Instituto de Evaluación y Métrica de Salud (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018a), quién estimó la carga de enfermedades, lesiones y factores de riesgo para 195 países y territorios, y a nivel subnacional nivel para un subconjunto de países.

Las medidas disponibles incluyen muertes atribuibles y discapacidades ajustadas años de vida (AVAD) utilizados en este documento. Estimaciones anuales de población por año de edad y sexo para 1950-2017 están disponibles en el IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018b). Estimaciones anuales de la tasa de fecundidad específica (ASFR) para la edad de 5 años grupos en el rango de 10 a 54 años para 1950-2017 están disponibles en el IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation., 2018). Y a través de la pestaña "Archivos" arriba, las tablas seleccionadas publicadas por GBD (GBD. Population and Fertility Collaborators., 2019).

Los datos tomados para este trabajo corresponden a 2013, se diferencian por sexo y factores de riesgo. Se utilizan dos tipos de datos, i) el número de AVAD según la

enfermedad y el factor de riesgo y ii) el número de muertes atribuibles a cada factor de riesgo.

En relación al número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tránsito, esto se obtuvo de los registros policiales (Carabineros de Chile) informe anual para 2013 (Instituto Nacional de Estadísticas, 2013).

Respecto a las tasas de inflación en términos de variación del índice de precios al consumidor, datos de población y tasas de cambio fueron tomadas del Instituto Nacional de Estadística y el Banco Central de Chile, respectivamente.

El VVE chileno específico provino del valor VVE estimado (WHO Regional Office for Europe and OECD, 2015) para 2010, ajustando las tasas de inflación y aplicando la paridad de poder adquisitivo especificada en este informe. Se aplicó el supuesto de que el valor específico para el VVE de Chile podría aproximarse el valor del país más similar en términos de PIB y PPC per capita. Este era Croacia con un valor de 2.07 millones de dólares (International Monetary Fund, 2018; World Bank., 2018). Este valor se actualizó a partir de 2013 y se consideró representativo para Temuco.

Los datos de vivienda son proporcionados por la unidad estadística asociada con el Ministerio de Vivienda y Planificación Urbana (Observatorio Urbano, 2018) y los datos del DGC son proporcionados por la red meteorológica de Chile METEORED (METEORED, 2019).

3.2.3. Resultados

Los hallazgos más importantes se ofrecen en las siguientes dos subsecciones. En primer lugar, los impactos monetarios en la salud fueron calculados siguiendo los dos enfoques alternativos descritos en la metodología (WTP y HCA). Finalmente se calcularon los ahorros monetarios por las emisiones evitadas.

3.2.3.1.- Costos en salud

Siguiendo el enfoque de criterios VIP a través del VVE, las muertes totales hasta 2013 para los hombres fueron de 33.27 por 100,000 habitantes con un rango de 20.42-43.95 y 26.90 para las mujeres (15.54-36.94). Los habitantes de Temuco estimados para 2013 fueron 265,101. El valor VVE fue tomado de la OMS el cual fue de 2.07 millones de dólares (2010) por muerte (oficina regional de OMS para Europa y OCDE, 2015). Este valor se actualizó para 2013.

Debe tenerse en cuenta que solo se consideró un 51% del impacto en la salud por parte de la contaminación del aire de los hogares a partir de combustibles fósiles asociado al porcentaje de consumo de leña en el consumo total de energía. Del mismo modo, el 88% del impacto en salud de la contaminación por partículas se atribuyó a la combustión de leña. El valor monetario total de las muertes para los hombres es de 13.7 millones (USD 2013) y 16.3 millones (USD 2013) para las mujeres.

El mayor impacto en la salud de la contaminación ambiental por partículas fue en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica en el caso de los hombres, 2,7 millones (USD 2013). Para las mujeres, el mayor impacto fue por cardiopatía isquémica, 3,3 millones (USD 2013).

Al centrarse en la contaminación del aire de los hogares a partir de combustibles fósiles, el mayor impacto en salud para los hombres también proviene de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 0.18M (USD 2013) y una vez más la cardiopatía isquémica para las mujeres 0.38M (USD 2013). Los anexos 10 y 11 detallan los resultados obtenidos.

Al utilizar el enfoque ECH, se estimó el valor monetario de los AVAD perdidos debido a la contaminación de partículas ambientales y la contaminación del aire de los hogares por los combustibles fósiles multiplicando los AVAD estimados asociados con diferentes enfermedades por los gastos netos de salud per capita del PIB (incluidos los gastos corrientes y de capital) (Kirigia y Mwabu, 2018) 1037/5000.

Al utilizar los criterios de ECH, los AVAD totales atribuidos a estos factores de riesgo hasta 2013 fueron de 11,605.71 por 100,000 habitantes para hombres con un rango

de (10,631.65-12,755.12 y 7,971.75) y para mujeres (7,092.28-8,966.85). El PIB per capita considerado fue de 15,790 USD, mientras que el gasto actual en salud per capita fue de 1,173 USD y el gasto de capital en salud per capita fue de 43 USD. El valor monetario total de los AVAD totales para hombres resulta en 12.3 millones (USD 2013) y 7 millones (USD 2013) para mujeres. En comparación con el enfoque VVE, los resultados obtenidos difieren principalmente en el caso de las mujeres.

El mayor impacto de la contaminación ambiental por partículas en la salud fue sobre la cardiopatía isquémica, 3,3 millones (USD 2013) para hombres y diabetes mellitus para mujeres, 2,1 millones (USD 2013). Cuando nos enfocamos en la contaminación del aire de los hogares a partir de combustibles fósiles, el mayor impacto también es la cardiopatía isquémica en el caso de los hombres 0.2M (USD 2013) y la diabetes mellitus para las mujeres 0.2M (USD 2013). Los Anexos 15 y 16 detallan los resultados obtenidos.

Para calcular el valor monetario de los accidentes agrupamos los datos de las víctimas de los informes policiales en tres categorías (muertes, lesiones graves y lesiones menores). Los costes internos y externos por muerte o lesión se tomaron de Reyes (2016) y se actualizaron en USD 2013. Los autores utilizan la Unidad de Fomento (UF) como unidad monetaria. La UF es una unidad de contabilidad utilizada en Chile. El tipo de cambio para 2013 fue de 1 UF igual a 23.309,56 CLP (moneda chilena). Se utilizó el tipo de cambio oficial de CLP a USD (495 CLP / USD).

Como los informes policiales no ofrecen información detallada sobre accidentes en la ciudad de Temuco, los datos se estimaron en base a estudios previos (Gazmuri et al., 2006), con datos correspondientes a la provincia de Cautín, a la que pertenece la ciudad de Temuco.

Los autores estiman que, para el caso de Chile, el 43% de las muertes ocurren en áreas urbanas. Para el resto de los accidentes estimaron que el 84% del total de accidentes ocurren en áreas urbanas. El anexo 17 muestra los resultados.

Según las entrevistas con las autoridades de tránsito se asume que los accidentes causados por el smog fueron el resultado de la emisión de partículas contaminantes. Siguiendo nuestra suposición, de estas el 88% fue atribuible a la combustión de leña. El valor monetario total de los accidentes atribuibles a la contaminación por partículas fue

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

de 76,7 millones (USD 2013) (72,3 millones de costos internos y 4,3 millones de costos externos).

3.2.3.2.- Ahorro monetario por emisiones evitadas

El anexo 18 muestra la emisión de contaminantes y emisiones de CO₂ no fijadas debido a la tala para el uso de leña de eucalipto. Al comparar el escenario de referencia (Anexos 13 al 16) como se describe en la sección de metodología, obtenemos los factores de reducción que se muestran en la Tabla 5. Los valores más altos cuando se considera HDD_{≤18 C} derivan de una reducción en los requisitos de leña. Como el anexo 18 muestra, el número total de HDD_{≤18 C} fue 17.64% mayor que HDD_{≤15 C}.

Tabla 5: Tasa de reducción de emisiones de CO₂ y partículas en el ambiente (%) a diferentes DGC

Tipo de almacenamiento de energía	DGC ≤ 15° C		DGC ≤ 18° C	
	CO ₂	Partículas en el ambiente	CO ₂	Partículas en el ambiente
Tasa de reducción sin sistemas de almacenamiento FV + LCA	40.49	40.31	47.63	47.42
Tasa de reducción con sistemas de almacenamiento FV + LCA	38.46	40.31	45.25	47.42

Fuente: Elaboración propia.

En base a información recopilada se supuso que la huella de carbono del sistema de almacenamiento PV + considerado fue igual a un año de emisiones totales evitadas (Corporación Nacional Forestal, 2015; Ministerio del Medio Ambiente, 2017; Raugei y Frankl, 2009).

Según las entrevistas con las empresas de instalación, se debe considerar que la mayoría de los sistemas instalados en Temuco se fabrican en China. La ruta marítima usada como referencia fue Shanghai – Valparaíso. La vida útil supuesta del producto fue

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

de 20 años. Nuestra suposición fue conservadora y basada en la información entregada en Gazmuri et al. (2006), pese a que este mismo señala un límite de utilidad de 30 años.

Como el material particulado ambiental es un problema de contaminación local (diferente del CO₂, que impacta en el calentamiento global, el LCA no modifica sus factores de reducción. Al aplicar la tasa de reducción de emisiones a los valores monetarios del impacto en la salud y los accidentes, fue posible identificar las reducciones de estos costes derivados de reemplazar las estufas de leña con sistemas de almacenamiento PV +. Estas reducciones son los beneficios del análisis coste-beneficio realizado. Las Tablas 6–9 muestran los resultados.

Tabla 6: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + sin LCA. Criterios VSL Masculinos y femeninos. (USD 2013).

Afección	Causa	Costos en USD-Hombres		Costos en USD-Mujeres	
		DGC ≤ 15°C	DGC ≤ 18°C	DGC ≤ 15°C	DGC ≤ 18°C
Enfermedad isquémica del corazón	Contaminación ambiental por partículas	1,041,965	1,773,615	1,339,453	2,279,994
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	70,960	120,635	157,765	268,207
Ataque	Contaminación ambiental por partículas	466,848	794,661	938,176	1,596,947
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	59,883	101,804	110,231	187,397
Bronquios traqueales y cáncer de pulmón	Contaminación ambiental por partículas	686,884	1,169,202	524,025	891,987
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	45,412	77,202	60,309	102,528
Infecciones respiratorias inferiores	Contaminación ambiental por partículas	1,012,678	1,723,762	1,150,545	1,958,438
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	67,718	115,124	131,314	223,238
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	Contaminación ambiental por partículas	1,127,226	1,918,745	1,022,607	1,740,664
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	75,703	128,697	118,935	202,195
Diabetes mellitus	Contaminación ambiental por partículas	828,446	1,410,167	934,796	1,591,194
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	56,699	96,390	110,667	188,138
TOTAL		5,540,421	9,430,005	6,598,824	11,230,928

Fuente: Elaboración propia.

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Tabla 7: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + sin LCA, criterios ECH, hombres y mujeres (USD 2013).

Afección	Causa	Costos en USD-Hombres		Costos en USD-Mujeres	
		DGC ≤ 15°C	DGC ≤ 18°C	DGC ≤ 15°C	DGC ≤ 18°C
Enfermedad isquémica del corazón	Contaminación ambiental por partículas	1,349,110	2,296,432	415,440	707,155
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	91,515	155,579	49,013	83,324
Ataque	Contaminación ambiental por partículas	592,080	1,007,828	364,386	620,251
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	40,342	68,583	42,816	72,789
Bronquios traqueales y cáncer de pulmón	Contaminación ambiental por partículas	389,811	663,530	193,608	329,556
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	25,809	43,877	22,230	37,791
Infecciones respiratorias inferiores	Contaminación ambiental por partículas	479,522	816,234	263,050	447,759
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	33,584	57,093	29,307	49,823
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	Contaminación ambiental por partículas	612,923	1,043,307	454,521	773,677
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	41,067	69,816	52,890	89,916
Diabetes mellitus	Contaminación ambiental por partículas	1,220,584	2,077,658	849,000	1,445,154
	Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles.	83,427	141,829	100,518	170,884
TOTAL		4,959,774	8,441,767	2,836,778	4,828,080

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Ahorro debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + con LCA, VVE y ECH, hombres y mujeres (USD 2013).

Valor monetario ahorrado debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento FV + ; DGC ≤ 15°C				Valor monetario ahorrado debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento FV + ; DGC ≤ 18°C			
VVE		ECH		VVE		ECH	
Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
5,442,841	6,420,134	4,877,914	2,759,836	9,378,902	11,137,349	8,398,896	4,787,785

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Ahorro en accidentes de tráfico debido al reemplazo de leña con sistemas de almacenamiento PV + (USD 2013).

Efectos	DGC≤15°C		DGC≤18°C	
	Costos internos	Costos externos	Costos internos	Costos externos
Muertes	3,270,279	19,689	3,847,101	23,162
Lesiones graves	20,021,697	523,683	23,553,184	616,052
Lesiones leves	5,888,907	1,212,379	6,927,610	1,426,222
Total	29,180,883	1,755,752	34,327,895	2,065,437

Fuente: Elaboración propia en base a Reyes (2016)

Cuando se utilizó HDD≤15 C como referencia, el valor monetario del impacto en la salud se redujo en 5.5 M (USD 2013) para los hombres y 6.5 M (USD 2013) para las mujeres. Cuando se usó HDD≤18 C como referencia, estas cifras de reducción fueron 9.4 y 11.2 M (USD 2013).

Teniendo en cuenta los criterios de HCA, cuando se utilizó HDD≤15 C como referencia, el valor monetario del impacto en la salud se redujo en 4.9 M USD 2013 para los hombres y 2.8 M USD 2013 para las mujeres. Cuando se usó HDD≤18 C como referencia, estos fueron 8.4 y 4.8 M USD 2013.

Cuando se consideraron las emisiones de CO₂ en los sistemas de almacenamiento PV + LCA, los resultados en las Tablas 6 y 7 deben reducirse. La Tabla 8 resume los principales hallazgos.

Finalmente, la contaminación ambiental de partículas que no se produce debido al reemplazo de leña reduce los accidentes de tráfico y su correspondiente valor monetario. Los detalles se pueden ver en la Tabla 9.

Cuando los días fríos se definieron HDD≤15 C, el ahorro total ascendió a 30.93 M (USD 2013) y a 36.38 M (USD 2013) de ahorro total para el caso de HDD≤18 C. En este caso, la base de datos no se distingue por sexo; Suponemos que hombres y mujeres son iguales.

Cuando los ahorros de la reducción del impacto de la contaminación en la salud y

los accidentes de tránsito se comparan con los costos totales de la compra del sistema de almacenamiento PV + para viviendas de entre 51 y 70 m², los beneficios de reemplazar la leña para calefacción con este tipo de sistemas supera el costo total. El costo total anualizado de los sistemas de almacenamiento PV + asciende a 8,76 M (USD 2013). Los beneficios varían según la definición del HDD, que varían en un rango entre 2,7 M USD 2013 y 11,3 M USD 2013. Como los ahorros de los accidentes de tráfico evitados varían en un rango entre 30.93 y 36.38 M USD 2013, ambos tipos de ahorro juntos superan los costos anuales de tales sistemas.

3.2.4. Conclusiones y recomendaciones de política

Reemplazar en hogares las estufas de leña por sistemas de almacenamiento PV + reduciría el estrés ambiental ya que la disminución de los requisitos de leña permite un modelo más sostenible de calefacción que aporta a lograr un buen estándar de vida. Este reemplazo también contribuiría a mejorar los niveles de salud en los seis tipos de enfermedades bajo evaluación, tanto para hombres como para mujeres. Por último pero no menos importante, el número de accidentes de tráfico en una ciudad como Temuco, que sufre el fenómeno de la inversión térmica, también se reduciría significativamente.

Nuestros resultados respaldan las medidas positivas incluidas en el Plan de Descontaminación del Aire PM 2.5, destinadas a mejorar el aislamiento térmico de los hogares, la eficiencia de las estufas de leña y la mejora de la calidad de la leña utilizada. Pero además, permiten visualizar una mejora potencial si se toma en cuenta nuestra recomendación de incluir el reemplazo de estufas de leña con sistemas de almacenamiento PV +, una situación que generaría un aumento de los efectos positivos para el medio ambiente y la salud.

Dado que el tamaño de los ahorros obtenidos es significativo, recomendamos que los fondos que en virtud al recambio no son necesarios para la atención médica se utilicen para financiar subsidios parciales para la compra de estos sistemas, y también para mejorar la atención sanitaria de diferentes enfermedades y la seguridad vial. Esto tomando en cuenta que, Temuco (como las otras ciudades en el área centro-sur de Chile) tiene altos niveles de pobreza, aspecto que afecta fuertemente la adopción de tecnología energéticas por parte de los usuarios. Los

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

subsidios públicos son una medida correcta para salvar esta barrera.

El estudio no ha incluido la disminución del costo debido a la reducción de las actividades de tala orientadas a la producción de leña. En cierto modo, este impacto negativo puede verse afectado por la mayor actividad del sector de instalación y mantenimiento de los nuevos sistemas de almacenamiento PV +. El costo de desmantelar las estufas se consideró nulo o se compensa con los ingresos de su posible venta como chatarra.

También se debe considerar que muchas casas en Temuco aún usan la estufa de leña simultáneamente para cocinar, calentar la casa y generar agua caliente sanitaria con contenedores de agua colocados alrededor de los cañones. Esto no está incluido en el análisis. La investigación adicional podría tratar con estos límites.

La evaluación monetaria de los accidentes de tráfico también está limitada en el análisis por el hecho de que la información sobre el número de víctimas de accidentes en Chile solo está incluye un registro hasta 24 horas después del accidente. No hay registros de lesiones o muertes que ocurran más allá de ese período de tiempo

Otra limitación del análisis realizado se deriva del hecho de que asumimos que el smog fue causado solo por emisiones de partículas. Los resultados y conclusiones obtenidos en este estudio deben tomarse con precaución ya que se ha asumido que el impacto de la contaminación en la salud en todo Chile es el mismo para todas las ciudades. Esto debido a que la herramienta GBD ofrece análisis regionales para algunos países, pero no para Chile, por lo que se recomienda tomar los resultados como valores mínimos.

También debe tenerse en cuenta que el análisis se centra solo en viviendas de 51 a 70 m², con la posibilidad de extenderlo a viviendas con áreas de vivienda más grandes. La investigación adicional podría considerar diferentes condiciones de operación y manejo de estufas para distribuir el conjunto de factores de emisión de leña utilizados.

Finalmente, es importante señalar que estudios como este deben profundizarse teniendo en cuenta que el cambio climático, el crecimiento de las ciudades y el desarrollo inmobiliario están dando como resultado más ciudades en Chile con problemas de contaminación y saturación, provocando efectos altamente dañinos en la salud de la población. Es por esto que la búsqueda de nuevas y mejores soluciones para prevenir la contaminación producida por el calentamiento

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

de los hogares es un tema prioritario en el camino hacia ciudades sostenibles con una mejor calidad de vida.

Capítulo 4: Conclusiones

Esta tesis se basa en dos investigaciones desarrolladas en el campo de la Economía Medioambiental que han sido publicadas en revistas especializadas e internacionales con elevado factor de impacto. Ambas investigaciones revelan la importancia del sector forestal como ente mitigador, compensador y controlador de los efectos de las emisiones de GEI contribuyendo de esta forma a la lucha contra el calentamiento global y el CC.

En su primera investigación este trabajo demuestra la relevancia del sector forestal como mitigador de GEI en el balance total de los sectores productivos de Chile. Al igual que en ocurre en otros países, los ecosistemas forestales -tanto bosques nativos como plantaciones- tienen un efecto positivo sobre la contaminación atmosférica al actuar como sumideros de las emisiones de CO₂-eq. Los resultados obtenidos permiten concluir que Chile debe incluir en sus compromisos internacionales acciones específicamente dirigidas al sector forestal en tanto que actor clave de la contribución chilena a la lucha contra el CC.

La aplicación del análisis de descomposición LMDI lleva a concluir que el sector forestal actúa como un sector compensador con respecto a los factores como la intensidad energética, la carbonización de la economía y su propia estructura que habitualmente actúan como “drivers” de las emisiones de GEI para el periodo de tiempo analizado.

Tomando en el conjunto de los sectores productivos y refiriéndonos específicamente a los elementos analizados se concluye del análisis LDMI, que los únicos dos factores que actúan como impulsores claros de las emisiones de CO₂-eq para todo el período bajo análisis son el ingreso por habitante y la población. Como consecuencia, las acciones de mitigación deben orientarse prioritariamente a modificar los patrones de consumo hacia productos con una menor huella de carbono.

Sumando a lo anterior, el índice de Tapio mostró que la economía chilena aun no puede compensar las mayores emisiones de CO₂-eq derivadas del crecimiento económico, generando mayormente un 'Desacoplamiento negativo expansivo'. Pese a ello también es claro que el sector forestal chileno contribuye significativamente a lograr el estado de "fuerte desacoplamiento" cuando el país ha logrado alcanzarlo, mostrando el papel altamente relevante del sector forestal para ayudar a la matriz energética chilena a establecerse como

de bajo carbono.

El sector forestal actúa como uno de los sectores claramente inhibidores en el incipiente camino a una estabilización en el desacoplamiento económico. Nuestra recomendación es intensificar las políticas asociadas a la mejora en la gestión del recurso forestal y potenciar la gestión de bosque nativo adulto. Unido a lo anterior también se recomienda un mayor trabajo en la restauración y recuperación de ecosistemas, el cambio energético hacia una matriz descarbonizada específicamente en el sector industrial e incentivar la utilización de desechos forestales.

Pese a esta relevancia demostrada del sector forestal en el desarrollo sostenible de la economía nacional, su gestión política y su importancia social es aún bastante limitada en Chile. La generación de información como la entregada en esta tesis es un aporte en este contexto, como un insumo altamente necesario para evaluar y proponer nuevas políticas sobre la gestión forestal, apoyadas en conocimientos empíricos y concretos que permitan establecer claros lineamientos para el crecimiento sostenible del país.

El segundo trabajo que conforma la presente tesis hace referencia a acciones asociadas a productores forestales incluidas en los planes de descontaminación de las regiones. Del análisis de los resultados obtenidos se concluye la existencia de errores en la aplicación de estas políticas del Estado de Chile. Particularmente se concluye que en ciudades del sur de Chile como Temuco, la matriz energética de calefacción domiciliaria sigue contando con una alta participación de la leña.

Hace 10 años que comenzaron a aplicarse planes de descontaminación y pese a que se han llevado a cabo varias acciones, no han contado con una masificación suficiente de su uso que permita reducir los episodios críticos de contaminación. Nuestra segunda investigación concluye que existen efectos positivos derivados del cambio de la matriz energética de combustión a leña a paneles solares, tanto a nivel individual como a escala global.

El trabajo obtiene datos robustos y significativos que refuerzan los beneficios de reemplazar la leña para calefacción con sistemas de almacenamiento PV +, mostrando en valor monetario el impacto de la reducción de contaminación en la salud y los accidentes de tránsito.

Se concluye que una inversión en el reemplazo de estufas a leña por un sistema de energía solar con almacenamiento produciría menos gastos en la red de salud. Esta reducción se debería a menos casos de síntomas y enfermedades asociadas a la contaminación, lo que a su vez podría reducir la saturación de los servicios de salud.

También el recambio energético produciría menos accidentes, dando posibilidad de disminuir también todos los costes asociados, como combustibles de ambulancias, recuperación de viario público, retrasos en la movilidad urbana entre otros.

Sumado a estos beneficios sociales, que cabe señalar no son destacados aun en la difusión en los programas de recambios de estufas existentes, también existe el beneficio a escala mayor que indicaba nuestro primer artículo, que es el de contar con una mayor biomasa para la absorción de CO₂-eq al reducir el uso de las masas forestales para la leña.

Una recomendación anexa a la investigación es la necesidad de que Chile recopile, clasifique y gestione más y mejor información sanitaria. Especialmente necesario es el desarrollo de herramientas y sistemas de información actualizables y de fácil acceso no solo para investigadores, sino que también para los propios decisores públicos.

Es muy probable que debido a la costumbre y por una relación psicológica aun no estudiada, el reemplazo total de las combustiones a leña sea complejo, pero su ampliación, sumado a la mejora en la calidad del producto y fomentar otras opciones de energía, además de la solar generarán un beneficio social, económico y ambiental para la ciudadanía y el país.

En resumen, ambos artículos evidencian firmemente la importancia de los ecosistemas forestales y su cuidado en el desarrollo sostenible de Chile. Instan a realizar más investigaciones que complementen lo planteado, por ejemplo, el estudio del recambio de fuente energética domiciliaria no ha incluido los efectos de la reducción de actividades de tala de bosques para producción de leña, lo cual contribuiría a mayores superficies de bosques sumideros, con los subsecuentes beneficios planteados en la primera investigación. Esto también podría vincularse a nuevos usos de esos bosques como el turismo y la recreación que abren un nuevo elemento de evaluación económica de los efectos positivos de este recambio de fuente energética domiciliaria.

Basado en todo lo señalado, una conclusión final es la necesidad urgente mejorar las políticas asociadas a la gestión forestal en Chile, para lo cual metodologías como las

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

aplicadas en la presente tesis son de alto beneficio para generar datos concretos visibles por los legisladores y la sociedad para poder plantear y justificar nuevas propuestas de gestión. Junto con ello estas técnicas permiten el seguimiento y valoración de las estrategias, políticas y acciones referidas a productos y servicios de los ecosistemas forestales.

En este sentido, es importante señalar que estudios como estos deberían ser más frecuentes en su desarrollo y liderados por el Estado teniendo en cuenta situaciones que el mismo gobierno de Chile señala como preocupaciones y objetivos, firmando tratados y convenios internacionales, nos referimos a; la mitigación de los efectos del cambio climático y el urbanismo sostenible, esto último asociado a varios subtemas como, el crecimiento de las ciudades, el desarrollo inmobiliario, la descontaminación, salud y calidad de vida en las ciudades.

Capítulo 5: Referencias

- Ackerknecht, C., 2013. Impacto del cambio climático en el sector forestal, in: Seminario: Cambio Climático, Impactos y Oportunidades En El Sector Silvoagropecuario INIA. Chillán, Chile., p. 23.
- Akbostanci, E., Tunç, G.I., Türüt-Aşık, S., 2011. CO2 emissions of Turkish manufacturing industry: A decomposition analysis. *Appl. Energy* 88, 2273–2278. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.076>
- Alcoholado, G., Rizzi, L.I., 1999. Estimación de los Costos Externos de los Accidentes de Tránsito en Chile. *Ing. Transp.* 13, 24–29.
- Álvarez, B., Boso, Á., La, U. De, Avenida, F., Salazar, F., 2018. Representaciones sociales de la contaminación del aire y las estufas de leña en diferentes niveles socioeconómicos de la ciudad de Temuco, Chile. *Rev. Int. Contam. Ambie* 34, 527–540. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.14>
- Ang, B.W., 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. *Energy Policy* 33, 867–871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? *Energy Policy* 32, 1131–1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Ang, B.W., Choi, K.H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined division index method. *Energy J.* 18, 59–73. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol18-No3-3>
- Ang, B.W., Liu, N., 2007. Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods. *Energy Policy* 35, 1426–1432. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.020>
- Ang, B.W., Pandiyan, G., 1997. Decomposition of energy-induced CO2 emissions in manufacturing. *Energy Econ.* 19, 363–374. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(96\)01022-5](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(96)01022-5)
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. Parallel scientific computing on loosely coupled networks of computers. *Lect. Notes Comput. Sci. Eng.* 25, 1149–1176. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03344-5_4
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H., 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy* 23, 489–495. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(98\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(98)00016-4)
- Arcos-Vargas, A., Cansino, J.M., Román-Collado, R., 2018. Economic and environmental analysis of a residential PV system: A profitable contribution to the Paris agreement. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.023>
- Armijo, G., Whitman, C., Roubelat, L., 2013. Reacondicionamiento térmico en Temuco-Padre las Casas, Chile: una ciudad declarada saturada por contaminación aérea. *Xii Encac - Viii Elacac* 1–10.

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

- Barrios, S., Peña-Cortés, F., Osses, S., 2004. Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en la enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años / Effect for particles material atmospheric pollution on acute respiratory diseases in under 5 years of age. *Cienc. Enferm* 10, 21–29. <https://doi.org/07172079>
- BCC. (2016a). Statistics Database, National Accounts, GDP Expenditure and Income, Linked Series Reference 2008, GDP by Class of Economic Activity. Prices. Banco Central de Chile, Santiago, Chile <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx?Idioma=en-US>
- BCC. (2016b). Statistics Database, National Accounts, GDP Expenditure and Income, Linked Series Reference 2008, GDP Deflator. Banco Central de Chile, Santiago, Chile. <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx?Idioma=en-US>
- BCC. (2016c). Statistics Database, Employment, Wages and Demographics. Banco Central de Chile, Santiago, Chile. <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx?Idioma=en-US> 110.
- Boso, À., Fonseca, F., Ariztía, T., 2017. Uses, resistances and acceptance of emergent household energy technologies: The case of the wood-burning stove exchange program in temuco, Chile. *Rev. Int. Sociol.* 75, 1–13. <https://doi.org/10.3989/ris.2017.75.4.17.04>
- Brizga, J., Feng, K., Hubacek, K., 2013. Drivers of CO₂ emissions in the former Soviet Union: A country level IPAT analysis from 1990 to 2010. *Energy* 59, 743–753. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.045>
- Bueno, C., Carta, J.A., 2006. Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 10, 312–340. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.005>
- Burschel, H., Hernández, A., Lobos, M., 2003. Leña: Una fuente energética renovable para Chile, Editorial. ed. Santiago, Chile.
- Butler, C.D., Mcfarlane, R.A., 2018. Climate Change , Food Security , and Population Health in the Anthropocene Climate Change , Food Security , and Population Health in the Anthropocene. *Encycl. Anthr.* 2, 453–459. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09745-7>
- Cansino, J.M., Moreno, R., 2017. Does forest matter regarding Chilean CO₂ international abatement commitments? A multilevel decomposition approach. *Carbon Manag.* 1–6. <https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1409027>
- Cansino, J.M., Sánchez-braza, A., Rodríguez-arévalo, M.L., 2018. How can Chile move away from a high carbon economy ? *Energy Econ.* 69, 350–366. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.12.001>
- Cansino, J.M., Sánchez-Braza, A., Rodríguez-Arévalo, M.L., 2015. Driving forces of Spain's CO₂ emissions: A LMDI decomposition approach. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 48, 749–759. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.011>

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

- Cárdenas, J.P., Araneda, C., Beaumont, J.C., 2014. Evaluación del Plan de Reacondicionamiento Térmico en Temuco y Padre Las Casas . Thermal Reconditioning Plan Evaluation in Temuco and Padre Las Casas . Rev. Ing. Obras Civiles - RIOCI. 4, 14–22.
- Carey, E. V., Sala, A., Keane, R., Callaway, R.M., 2001. Are old forests underestimated as global carbon sinks? Glob. Chang. Biol. 7, 339–344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2001.00418.x>
- Celis, J.E., Morales, J.R., Zaror, C.A., Carvacho, O.F., 2007. Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile). Inf. Tecnol. 18, 49–58.
- Chen, L., Yang, Z., 2015. A spatio-temporal decomposition analysis of energy-related CO₂ emission growth in China. J. Clean. Prod. 103, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.025>
- Colinet, M.J., Cansino, J.M., González-Limón, J.M., Ordóñez, M., 2014. Toward a less natural gas dependent energy mix in Spain: Crowding-out effects of shifting to biomass power generation. Util. Policy 31, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2014.07.006>
- Comisión Nacional de Energía, 2014. Balance Nacional de Energía 2013. Santiago, Chile.
- Commoner, B., 1971. The Closing Circle: Nature, Man and Technology, Knopf Doub. ed, Hospital Practice. New York. <https://doi.org/10.1080/21548331.1972.11706151>
- CONAF, 2018. Superficies Catastros Usos de Suelos y Recursos Vegetacionales . . Santiago, Chile.
- CORMA, 2014. Aporte económico y social del sector forestal en Chile y análisis de encadenamientos. Santiago, Chile.
- Corporación Nacional Forestal, 2015. Caracterización de centros de acopio rurales y periurbanos de leña en las regiones de O'Higgins, Maule, Bío-bío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysen. <https://doi.org/10.1086/650391>
- Cortés, A., Ridley, I., 2013. Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario. La ciudad de Temuco como caso de estudio. Rev. INVI 28, 257–271. <https://doi.org/10.4067/invi.v0i0.812>
- COSMOPLAS, n.d. Standard PV+storage system costs [WWW Document]. web page.
- De Bruyn, S.M., 2000. Economic growth and the environment: An empirical analysis. Econ. growth Environ. An Empir. Anal. 7, 246.
- De Wild-Scholten, M.J., 2013. Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 119, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.08.037>
- Diakoulaki, D., Mandaraka, M., 2007. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector. Energy Econ. 29, 636–664. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.005>
- Dixon, R.K., Andrasko, K.J., Sussman, F.G., Lavinson, M.A., Trexler, M.C., Vinson, T.S., 1993. Forest sector carbon offset projects: Near-term opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. Water, Air,

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

Soil Pollut. 70, 561–577. <https://doi.org/10.1007/BF01105022>

Donglan, Z., Dequn, Z., Peng, Z., 2010. Driving forces of residential CO₂ emissions in urban and rural China: An index decomposition analysis. *Energy Policy* 38, 3377–3383. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.011>

Duran, E., Aravena, C., Aguilar, R., 2015. Analysis and decomposition of energy consumption in the Chilean industry. *Energy Policy* 86, 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.033>

Espina, A., 2006. Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. *Cybertesis.Uach.Cl. Universidad Austral de Chile*.

Fankhauser, S., Gennaioli, C., Collins, M., 2015. The political economy of passing climate change legislation: Evidence from a survey. *Glob. Environ. Chang.* 35, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.008>

Fernández González, P., Landajo, M., Presno, M.J., 2014. The driving forces behind changes in CO₂ emission levels in EU-27. Differences between member states. *Environ. Sci. Policy* 38, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.007>

Franco, J.F., 2012. Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Rev. EAN* 193–204.

Frischknecht, R., Itten, R., Sinha, P., Wild-Scholten, M. de, Zhang, J., Fthenakis, V., Kim, H.C., Raugei, M., Stucki, M., 2015. Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. PVPS Task 12, Report T12-04:2015, International Energy Agency.

Gayoso, J., 2001. Medición De La Capacidad De Captura De Carbono En Bosques Nativos Y Plantaciones De Chile. *Trab. Present. en Taller Secuestro Carbono. Mérida, Venez.* 2001 1, 1–22.

Gayoso, J., Guerra, J., 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque* 26, 33–38. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002005000200005>

Gazmuri, P., Muñoz, J.C., Rizzi, L.I., Fresard, F., Cumsille, S., 2006. Reducción de la mortalidad por accidentes del tránsito en Chile: 10 medidas prioritarias, in: *Camino Al Bicentenario Doce Propuestas Para Chile*. Santiago, Chile., pp. 357–386. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>

GBD. Population and Fertility Collaborators., 2019. Population and fertility by age and sex for 195 countries and territories , 1950–2017 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet* 392, 1995–2051. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32278-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32278-5)

Goldemberg, J., Johansson, T.B., 2004. *World Energy Assesment Overview 2004*, Energy.

Gómez-Lobo, A., Sanhueza, P., Vargas, C., Mellado, P., 2005. El consumo de leña en el sur de Chile: ¿por qué nos debe preocupar y qué se puede hacer? *Rev. Ambient. y Desarro.* 134, 754–761. <https://doi.org/S0034-98872006000600012>

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

- Guo, B., Geng, Y., Franke, B., Hao, H., Liu, Y., Chiu, A., 2014. Uncovering China's transport CO₂ emission patterns at the regional level. *Energy Policy* 74, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.005>
- Hall, J. V, Brajer, V., Lurmann, F.W., 2006. The Health and Related Economic Benefits of Attaining Healthful Air in the San Joaquin Valley.
- Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., Haralambopoulos, D., 2008. CO₂ emissions in Greece for 1990-2002: A decomposition analysis and comparison of results using the Arithmetic Mean Divisia Index and Logarithmic Mean Divisia Index techniques. *Energy* 33, 492–499. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.09.014>
- Hill, J., Polasky, S., Nelson, E., Tilman, D., Huo, H., Ludwig, L., Neumann, J., Zheng, H., Bonta, D., 2009. Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline. *PNAS* 106, 2077–2082.
- IDEAM, 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá, Colombia.
- IEA. (2017a). International Energy Agency. CO₂ emissions from fuel combustion. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf
- IEA. (2017b). Statistics Report, Energy Balances. International Energy Agency, OECD/IEA, Paris <http://www.iea.org/statistics/112>. CNE.
- Institute for Health Metrics and Evaluation., 2018. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Fertility Estimates 1950-2017 [WWW Document]. Univ. Washingt. URL <http://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2017-fertility-estimates-1950-2017> (accessed 9.20.09).
- Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018a. GBD Compare Data Visualization [WWW Document]. Univ. Washingt. <https://doi.org/10.1021/ac202361g>
- Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018b. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Population Estimates 1950-2017. [WWW Document]. Univ. Washington. URL <http://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2017-population-estimates-1950-2017> (accessed 9.20.09).
- Instituto Nacional de Estadísticas, 2013. Informe Anual carabineros 2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.005>
- International Monetary Fund, 2018. World Economic Outlook Database, April 2018. Report for Selected Countries and Subjects [WWW Document]. World Econ. Outlook Database, April 2018. URL

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2018/01/weodata/weorept.aspx?sy=1995&ey=2023&ssm=1&scsm=1&ssd=1&sort=country&ds=.&br=1&pr1.x=85&pr1.y=12&c=199%2C534%2C111&s=NGDP_R%2CNGDP_RPCH%2CNGDP%2CNGDPD%2CPPPGDP%2CNGDP_D%2CNGDPRPC%2CNGDPRPPPC%2CNGDPPC%2CNGDP

- Jiang, X.T., Dong, J.F., Wang, X.M., Li, R.R., 2016. The multilevel index decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in USA. *Sustain.* 8. <https://doi.org/10.3390/su8090857>
- Kausel, T., Vegara, C., 2003. El uso de la leña como combustible en la IX región. Aspectos económicos., in: Hernández, A., Lobos, M. (Eds.), *Leña: Una Fuente Energética Renovable Para Chile*. pp. 30–39.
- Kaya, Y., 1989. Impact of Carbon Dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios, Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group. Paris, Francia.
- Kim, K.H., Kabir, E., Kabir, S., 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ. Int.* 74, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
- Kirigia, J.M., Mwabu, G.M., 2018. The Monetary Value of Disability-Adjusted-Life-Years Lost in the East African Community in 2015. *Mod. Econ.* 09, 1360–1377. <https://doi.org/10.4236/me.2018.97087>
- Lin, B., Moubarak, M., 2013. Decomposition analysis: Change of carbon dioxide emissions in the Chinese textile industry. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.054>
- Liu, F.L., Ang, B.W., 2003. Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry. *Appl. Energy* 76, 15–23. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00043-6)
- Löfgren, Å., Muller, A., 2010. Swedish CO₂ Emissions 1993-2006: An Application of Decomposition Analysis and Some Methodological Insights. *Environ. Resour. Econ.* 47, 221–239. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9373-6>
- Lu, I.J., Lin, S.J., Lewis, C., 2007. Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy Policy* 35, 3226–3235. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.11.003>
- Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- Masera Cerutti, O., Coralli, F., García Bustamante, C., 2011. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectivas. *Red Mex. Energ.* 22, 118–125. <https://doi.org/10.1097/00004424-198702000-00006>
- METEORED, 2019. Reportes de datos climaticos de Chile [WWW Document]. Gob. Chile.
- Ministerio de Energía, 2019. Explorador Solar DGF-Min. Energía: Base de datos sobre radiación solar en Chile [WWW Document].

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovales en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

- Ministerio de Energía, 2018. Infografía de la leña. Santiago, Chile.
- Ministerio de Energía, 2015. Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Santiago, Chile.
- Ministerio del Interior Gobierno de Chile, 2015. Contribución Nacional Tentativa de Chile para el Acuerdo Climático París 2015. Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2019. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile [WWW Document]. Gob. Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2018. Planes Descontaminación Atmosférica.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2017. Informe del inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie 1990-2013. Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2016. Estado de calidad del aire por regiones del país y zonas de interés para alertas sanitarias. Seguimiento norma MP2.5, decreto n° 12 del MMA. Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2015. Plan de descontaminación atmosférica por mp2,5, Para las comunas de Temuco y Padre Las Casas actualización Del plan de descontaminación por mp10, para las mismas Comunas, Ministerio de la Secretaria General de la Presidencia. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.33.1471>
- Ministerio del Medio Ambiente, 2014. Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2013. Informe Final: Diseño e implementación de metodologías de medición de calidad del aire intra-domiciliario y medición de emisiones de calefactores en uso, para evaluar el impacto del programa recambio de calefactores a leña. Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente Gobierno de Chile, 2011. Cambio climático. Inf. del Estado del Medio Ambient. 2011 427–463.
- Molina, J.R., Moreno, N., Moreno, R., 2017. Influence of fire regime on forest structure and restoration of a native forest type in the southern Andean Range. *Ecol. Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.059>
- Moreno-García, N., Herrera, M.A., Caraciolo, L.R., 2011. Modelo para Calculo Estimación del Carbono en Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Nacional Malleco - Chile. *Árvore* 35, 1299–1306.
- Moutinho, V., Moreira, A.C., Silva, P.M., 2015. The driving forces of change in energy-related CO2 emissions in Eastern, Western, Northern and Southern Europe: The LMDI approach to decomposition analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.072>
- Mundaca, L., 2013. Climate change and energy policy in Chile: Up in smoke? *Energy Policy* 52, 235–248. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.073>
- Murray, C., Lopez, A., 1996. Global health statistics: A compendium of incidence, prevalence, and mortality

Sumideros naturales de CO_{2-eq} y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

estimates for over 200 conditions, Global burden of disease and injury series 2.

- Murray, C.J., Lopez, A.D., 1996. A comprehensive assessment of mortality and disability from disease, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020, in: *The Global Burden of Disease*. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-863>
- Murray, C.J.L., 1994. Quantifying the burden of disease: The technical basis for disability-adjusted life years. *Bull. World Health Organ*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07495-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07495-8)
- Murray, C.J.L., Acharya, A.K., 1997. Understanding DALYs, in: *Journal of Health Economics*. [https://doi.org/10.1016/S0167-6296\(97\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6296(97)00004-0)
- Murray, C.J.L., Lopez, A.D., 1997. Regional-patterns of disability-free life expectancy and disability-adjusted life expectancy: Global Burden of Disease Study. *Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07494-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07494-6)
- Murray, C.J.L., Lopez, A.D., Jamison, D.T., 1994. The global burden of disease in 1990: Summary results, sensitivity analysis and future directions. *Bull. World Health Organ*.
- Neves, D., Silva, C.A., Connors, S., 2014. Design and implementation of hybrid renewable energy systems on micro-communities: A review on case studies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31, 935–946. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.047>
- O'Mahony, T., 2013. Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: An extended Kaya identity. *Energy Policy* 59, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.013>
- Observatorio Urbano, 2018. PE Viviendas unidades y superficie según año y comuna 2002 a nov 2018.
- ODEPA, 2010. Estimación del Carbono Capturado en las Plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos Relacionadas con el DL-701 de 1974.
- Oh, I., Wehrmeyer, W., Mulugetta, Y., 2010. Decomposition analysis and mitigation strategies of CO₂ emissions from energy consumption in South Korea. *Energy Policy* 38, 364–377. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.027>
- ONU, 1998. Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.
- Oostvogels, A.J.J.M., De Wit, G.A., Jahn, B., Cassini, A., Colzani, E., De Waure, C., Kretzschmar, M.E.E., Siebert, U., Mühlberger, N., Mangen, M.J.J., 2015. Use of DALYs in economic analyses on interventions for infectious diseases: A systematic review. *Epidemiol. Infect.* <https://doi.org/10.1017/S0950268814001940>
- Oyarzún, M., 2010. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev. Chil. enfermedades Respir.* 26, 16–25. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>
- Pablo-Romero, M. de P., Román, R., Limón, J.M.G., Praena-Crespo, M., 2015. Effects of fine particles on children's hospital admissions for respiratory health in Seville, Spain. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 65,

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

436–444. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.1001499>

- Paul, S., Bhattacharya, R.N., 2004. CO₂ emission from energy use in India: A decomposition analysis. *Energy Policy* 32, 585–593. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00311-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00311-7)
- Pérez, L.M.C., 2020. Desarrollo sustentable:, Estudios rurales en México. <https://doi.org/10.2307/j.ctvtwx358.8>
- Peters, G.P., Hertwich, E.G., 2008. Post-Kyoto greenhouse gas inventories : production versus consumption. *Clim. Change* 86, 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9280-1>
- Pregitzer, K.S., Euskirchen, E.S., 2004. Carbon cycling and storage in world forests: Biome patterns related to forest age. *Glob. Chang. Biol.* 10, 2052–2077. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x>
- Raugei, M., Frankl, P., 2009. Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks. *Energy* 34, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.01.001>
- Reyes, A., 2016. Medición de la externalidad negativa de accidentes de tránsito asociados al consumo de alcohol. Universidad de Chile.
- Rizzi, L.I., 2005. Diseño de Instrumentos Económicos para la Internalización de Externalidades de Accidentes de Tránsito. *Cuad. Econ.* <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Román-Collado, R., Jiménez de Reyna, J., 2018. The economic benefits of fulfilling the World Health Organization’s limits for particulates: A case study in Algeciras Bay (Spain). *J. Air Waste Manag. Assoc.* <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1544178>
- Salinas, P., 2012. Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencias por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010. Univerisdad Austral, Valdivia, Chile.
- Sanhueza, P., Vargas, C., Mellado, P., 2006. Impact of air pollution by fine particulate matter (PM₁₀) on daily mortality in Temuco, Chile. *Rev. Med. Chil.* 134, 754–761. <https://doi.org/S0034-98872006000600012>
- Sathaye, J.A., Ravindranath, N.H., 1998. Climate Change Mitigation in the Energy and Forestry Sectors of Developing Countries. *Annu. Rev. Energy Environ.* 23, 387–437. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.23.1.387>
- Shahiduzzaman, M., Layton, A., 2015. Decomposition analysis to examine Australia’s 2030 GHGs emissions target: How hard will it be to achieve? *Econ. Anal. Policy* 48, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2015.10.003>
- Sheinbaum-Pardo, C., Mora-Pérez, S., Robles-Morales, G., 2012. Decomposition of energy consumption and CO₂ emissions in Mexican manufacturing industries: Trends between 1990 and 2008. *Energy Sustain. Dev.* 16, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.08.003>

Sumideros naturales de CO₂-eq y sistemas de calefacción/refrigeración con tecnologías renovables en la transición chilena a una economía neutra en emisiones.

- Shueftan, A., Gonzales, A., 2014. Calefacción en el sector residencial de Valdivia, Chile: Análisis de una encuesta en 2025 hogares. *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.* 18, 9–16.
- SICAM, 2014. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2013.
- Smith, K.R., 2006. Health impacts of household fuelwood use in developing countries. *Unasylva* 57, 41–44.
- Sovacool, B.K., 2009. The intermittency of wind, solar, and renewable electricity generators: Technical barrier or rhetorical excuse? *Util. Policy* 17, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2008.07.001>
- Sumabat, A.K., Lopez, N.S., Yu, K.D., Hao, H., Li, R., Geng, Y., Chiu, A.S.F., 2016. Decomposition analysis of Philippine CO₂ emissions from fuel combustion and electricity generation. *Appl. Energy* 164, 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.023>
- Sun, J.W., 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model. *Energy Econ.* 20, 85–100. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(97\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(97)00012-1)
- Tapio, P., 2005. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transp. Policy* 12, 137–151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001>
- Timilsina, G.R., Shrestha, A., 2009. Factors affecting transport sector CO₂ emissions growth in Latin American and Caribbean countries: An LMDI decomposition analysis. *Int. J. Energy Res.* 33, 396–414. <https://doi.org/10.1002/er.1486>
- UNFCCC, 2007. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Unidos por el Clima.
- Vega, G., 2012. Distribución temporal de la contaminación atmosférica (MP10 y MP2,5) entre 2010 y 2012 y sus consecuencias en la salud de los habitantes de la comuna de Valdivia, (Región de Los Ríos, Chile). Universidad Austral, Valdivia, Chile.
- Vehmas, J., Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., 2007. Linking analyses and environmental Kuznets curves for aggregated material flows in the EU. *J. Clean. Prod.* 15, 1662–1673. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.010>
- Voigt, S., De Cian, E., Schymura, M., Verdolini, E., 2014. Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement? *Energy Econ.* 41, 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.015>
- Wang, M., Chang, H.C., Merrick, J.R., Amati, M., 2016. Assessment of solar radiation reduction from urban forests on buildings along highway corridors in Sydney. *Urban For. Urban Green.* 15, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.01.003>
- WHO, 2017. World Health Statistics 2017: Monitoring Health for The Sustainable Development Goals, World Health Organization. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. *Eur. Environ. Heal. Process.* <https://doi.org/10.1080/02640410802277445>
- Wielgosiński, G., Lechtańska, P., Namiecińska, O., 2017. Emission of some pollutants from biomass combustion in comparison to hard coal combustion. *J. Energy Inst.* 90, 787–796. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.06.005>
- Williams, A., Jones, J.M., Ma, L., Pourkashanian, M., 2012. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Prog. Energy Combust. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.10.001>
- World Bank., 2018. World Development Indicators Database. [WWW Document]. World Bank.
- York, R., Rosa, E.A., Dietz, T., 2002. Bridging environmental science with environmental policy: Plasticity of population, affluence, and technology. *Soc. Sci. Q.* 83, 18–34. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.00068>
- Zhang, M., Mu, H., Ning, Y., 2009. Accounting for energy-related CO₂ emission in China, 1991–2006. *Energy Policy* 37, 767–773. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.025>
- Zhang, Wei, Li, K., Zhou, D., Zhang, Wenrui, Gao, H., 2016. Decomposition of intensity of energy-related CO₂ emission in Chinese provinces using the LMDI method. *Energy Policy* 92, 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.026>
- Zhang, Y.J., Da, Y. Bin, 2015. The decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41, 1255–1266. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.021>
- Zhou, G., Liu, S., Li, Z., Zhang, D., Tang, X., Zhou, C., Yan, J., Mo, J., 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science (80-.)*. 314, 1417. <https://doi.org/10.1126/science.1130168>

ANEXOS

Anexo 1.Emisiones chilenas totales de CO₂-eq (Gg) por sector, 1990–2013..

Descripción series	Energía	Transporte	Proceso industriales	Agricultura	Forestal	Residuos	Total
1991	21.800,56	9.653,50	3.065,70	12.668,47	-40.529,04	2.581,58	48.215,41
1992	21.892,79	10.471,38	3.723,13	12.882,43	-43.248,29	2.673,23	50.039,49
1993	22.986,71	11.615,16	3.941,05	13.072,59	-42.816,58	2.724,54	52.629,06
1994	24.528,94	12.555,52	4.065,30	13.189,12	-42.700,60	2.808,54	55.854,35
1995	26.064,04	13.891,56	4.043,81	13.454,41	-40.943,56	2.916,51	59.286,33
1996	30.669,05	15.113,45	4.294,58	13.640,61	-39.363,95	3.011,64	65.460,67
1997	36.414,62	16.033,42	4.817,74	13.558,64	-41.778,57	3.106,72	72.891,28
1998	36.021,54	16.904,59	5.046,02	13.565,91	-39.222,14	3.188,34	73.778,99
1999	38.534,42	17.091,52	5.431,96	13.662,26	-36.665,70	3.230,26	76.968,15
2000	34.773,94	17.348,92	6.334,78	13.580,69	-46.399,92	3.348,28	74.487,93
2001	33.608,23	16.402,86	6.139,36	13.476,55	-46.878,81	3.640,94	72.257,20
2002	33.814,25	16.940,37	6.434,58	13.550,98	-30.736,51	3.696,67	73.259,91
2003	34.717,92	16.714,01	6.585,11	13.269,45	-44.738,64	4.037,06	74.295,28
2004	38.760,11	17.336,00	7.061,11	13.818,56	-38.225,46	4.172,91	80.256,67
2005	38.483,88	19.095,01	7.294,26	13.526,63	-39.214,70	4.403,23	82.005,24
2006	39.733,67	18.705,88	7.647,19	13.763,65	-40.706,55	4.196,70	83.284,53
2007	47.750,38	20.272,46	7.289,05	13.896,62	-31.657,43	3.972,97	92.827,80
2008	48.124,95	21.227,84	6.801,12	13.933,04	-30.714,00	3.844,79	93.969,83
2009	45.943,17	21.229,08	6.232,82	13.128,34	-35.768,14	3.755,40	90.933,19
2010	48.471,22	20.952,45	5.767,05	12.879,79	-43.394,22	3.802,61	91.575,94
2011	56.665,39	21.861,57	6.739,41	12.741,69	-37.081,64	3.939,78	64.866,20
2012	59.521,25	22.555,34	7.026,84	13.285,03	-31.695,78	4.019,16	74.711,84
2013	60.529,70	24.545,67	6.477,41	13.735,20	-39.854,36	4.478,81	69.912,42

Anexo 2. Emisiones de actividades de UTCUTS por subsectores principales. CO₂-eq Gg, 1990-2013.

AÑO/ SECTOR	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tierras forestales	-45,371.9	-42,444.2	-45,167.8	-44,746.1	-44,628.2	-42,887.6	-41,389.1	-43,718.6	-25,389.2	-38,694.6	-48,437.9	-48,893.8	-32,759.4	-46,774.4	-40,289.4	-41,235.5	-42,771.9	-34,228	-33,289.1	-38,298.0	-45,999.2	-39,684.0	-34,356.1	-42,491.2
Bosques incendiados	1,433.1	2937.5	510.4	2863.1	3058.0	1440.2	6449.0	4559.0	26,572.9	11,553.5	831.1	437.3	17,547.9	1525.0	2844.3	1495.6	726.2	6,490.4	4279.4	6948.5	4015.8	2647.7	10,240.9	951.1
Otros bosques	-46,805	-45,381.7	-45,678.2	-47,609.2	-47,686.3	-44,327.7	-47,838.0	-48,277.6	-51,962.1	-50,248.1	-49,269.0	-49,331.0	-50,307.2	-48,299.4	-43,133.7	-42,731.0	-43,498.1	-40,718.4	-37,568.5	-45,246.4	-50,015.0	-42,331.8	-44,597.0	-43,442.3
Cultivos	329.2	369.6	377.6	385.4	380.7	406.1	487.1	401.0	434.2	483.5	501.5	479.9	540.4	555.7	584.7	540.0	550.5	660.6	660.6	611.6	684.8	683.4	739.4	721.9
Pastizales	1,150.8	1153.6	1150.1	1152.4	1155.2	1146.2	1146.2	1147.2	1148.1	1153.4	1144.7	1143.3	1066.1	1064.1	1063.2	1065.1	1057.8	1069.1	1069.8	1073.4	1075.4	1074.0	1075.7	1069.7
Humedales	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	9.3	9.3	9.3	9.3	12.4	12.1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Asentamientos	218.3	218.2	218.1	218.1	218.1	218.2	218.3	218.3	218.3	218.3	218.2	218.2	169.3	169.1	169.1	168.9	176.3	247.0	268.7	268.8	268.8	269.0	269.1	269.2
Otros usos	173.5	173.4	173.3	173.3	173.2	173.2	173.2	173.3	173.3	173.3	173.2	173.2	237.8	237.6	237.6	237.5	268.3	581.7	563.6	563.6	563.6	563.6	563.7	563.6
Uso de la tierra, cambio de uso y uso forestal (Total)	-43,499.8	-40,529.0	-43,248.3	-42,816.6	-42,700.6	-40,943.6	-39,364.0	-41,778.6	-23,415.0	-36,665.7	-46,399.9	-46,878.8	-30,736.5	-44,738.6	-38,225.5	-39,214.7	-40,706.6	31,657.4	-30,714.0	-35,768.1	-43,394.2	-37,081.6	-31,695.8	-39,854.4

Anexo 3.Sectoral values for Yp decomposition factor. CO₂-eq emissions (Gg).

Años	YP Energía	YP Transporte	YP Industria	YP Solvente	YP Agricultura	YP Forestal	YP Residuos	YP TOTAL
1991-1992	1912,4	880,4	296,2	8,0	1118,3	-3665,5	230,0	779,7
1992-1993	954,4	469,4	163,0	3,6	552,1	-1830,6	114,8	426,6
1993-1994	787,2	365,7	132,7	2,7	435,2	-1417,3	91,7	398,0
1994-1995	1801,9	786,2	288,9	6,2	949,2	-2979,5	203,9	1056,8
1995-1996	4078,2	1589,7	600,5	13,1	1952,0	-5784,8	427,0	2875,7
1996-1997	1984,2	654,3	269,9	5,6	806,5	-2405,3	181,4	1496,7
1997-1998	1054,7	321,3	143,6	2,8	394,9	-1179,0	91,7	829,9
1998-1999	-76,0	-22,5	-10,7	-0,1	-27,8	77,3	-6,5	-66,2
1999-2000	1210,6	364,7	194,1	2,1	450,3	-1366,7	108,7	963,9
2000-2001	737,0	237,8	134,4	3,2	291,6	-1005,4	75,3	474,0
2001-2002	377,2	123,5	70,3	1,7	151,2	-427,9	41,1	337,1
2002-2003	942,4	303,5	179,0	3,7	368,8	-1025,9	106,3	877,8
2003-2004	1660,7	499,2	308,6	5,5	612,8	-1873,1	185,7	1399,4
2004-2005	1575,3	450,0	292,7	4,2	557,7	-1579,3	174,9	1475,6
2005-2006	1704,1	480,8	325,5	4,7	594,6	-1741,2	187,3	1555,9
2006-2007	1028,5	260,2	176,1	2,5	326,1	-848,7	96,3	1040,9
2007-2008	1100,2	253,2	161,6	3,8	319,4	-715,7	89,7	1212,2
2008-2009	-941,4	-220,9	-130,4	-3,8	-270,8	664,1	-76,1	-979,1
2009-2010	1913,9	447,4	243,2	7,6	527,3	-1600,2	153,2	1692,6
2010-2011	2378,1	547,4	349,4	8,1	690,3	-1992,1	193,9	2175,1
2011-2012	2110,4	495,1	292,3	8,5	607,0	-1540,1	170,5	2143,8
2012-2013	1523,0	356,0	193,5	6,0	419,6	-1149,4	121,9	1470,7

Anexo 4. Valores sectoriales para el factor de descomposición de P. Emisiones de CO₂-eq (Gg).

Años	P Energía	P Transporte	P Industria	P Solvente	P Agricultura	P Forestal	P Residuos	P TOTAL
1991-1992	392,4	180,6	60,8	1,6	229,4	-752,0	47,2	160,0
1992-1993	395,8	194,7	67,6	1,5	229,0	-759,2	47,6	176,9
1993-1994	411,7	191,3	69,4	1,4	227,6	-741,3	48,0	208,2
1994-1995	431,0	188,0	69,1	1,5	227,0	-712,6	48,8	252,7
1995-1996	391,6	152,7	57,7	1,3	187,5	-555,5	41,0	276,2
1996-1997	456,7	150,6	62,1	1,3	185,6	-553,6	41,7	344,5
1997-1998	487,7	148,6	66,4	1,3	182,6	-545,1	42,4	383,7
1998-1999	495,1	146,6	69,6	0,8	180,9	-503,9	42,6	431,6
1999-2000	480,2	144,7	77,0	0,8	178,6	-542,1	43,1	382,3
2000-2001	383,9	123,9	70,0	1,7	151,9	-523,8	39,2	246,9
2001-2002	208,5	68,2	38,9	1,0	83,6	-236,5	22,7	186,3
2002-2003	368,8	118,8	70,1	1,5	144,3	-401,5	41,6	343,6
2003-2004	377,7	113,5	70,2	1,3	139,4	-426,0	42,2	318,3
2004-2005	393,0	112,3	73,0	1,1	139,1	-394,0	43,6	368,1
2005-2006	401,6	113,3	76,7	1,1	140,1	-410,3	44,1	366,6
2006-2007	458,8	116,1	78,5	1,1	145,5	-378,6	43,0	464,3
2007-2008	525,7	121,0	77,2	1,8	152,6	-341,9	42,9	579,2
2008-2009	532,2	124,9	73,7	2,1	153,1	-375,5	43,0	553,5
2009-2010	526,6	123,1	66,9	2,1	145,1	-440,3	42,2	465,7
2010-2011	529,0	121,8	77,7	1,8	153,6	-443,2	43,1	483,9
2011-2012	513,0	120,4	71,0	2,1	147,6	-374,4	41,5	521,1
2012-2013	502,6	117,5	63,9	2,0	138,5	-379,3	40,2	485,4

Anexo 5. Valores sectoriales para el factor de descomposición de EI. Emisiones de CO₂-eq (Gg).

Años	EI Energía	EI Transport	EI Industria	EI Solvente	EI Agricultura	EI Forestal	EI Residuos	EI TOTAL
1991-1992	-8001,1	-1503,1	234,8	10,0	1594,6	-5226,6	50,7	-12840,8
1992-1993	1407,4	511,8	-36,7	-8,6	-11870,7	39362,8	127,0	29493,0
1993-1994	1135,7	-2118,1	36,2	1,8	9297,6	-30276,4	135,7	-21787,5
1994-1995	-399,6	-2433,8	171,0	0,2	-718,6	2255,6	115,0	-1010,2
1995-1996	7574,0	-1069,0	136,5	-7,5	2598,7	-7701,4	161,4	1692,6
1996-1997	1241,9	-803,3	40,8	27,0	2204,3	-6574,0	49,7	-3813,6
1997-1998	8139,3	-851,0	48,9	-20,5	-6827,6	20382,2	207,6	21078,9
1998-1999	-574,2	-653,6	564,0	9,2	3956,9	-11024,1	112,5	-7609,3
1999-2000	824,4	608,0	98,4	-6,1	52,1	-158,2	30,4	1449,0
2000-2001	-7558,4	28,6	204,8	-0,1	-2252,0	7763,8	302,7	-1510,8
2001-2002	11426,7	-1608,8	159,6	-12,5	4175,9	-11817,1	72,2	2395,9
2002-2003	-8263,0	-862,1	388,3	35,1	-2461,5	6847,0	30,8	-4285,3
2003-2004	9092,7	326,3	-2,0	-15,3	-4893,6	14959,2	90,8	19558,1
2004-2005	-4369,9	409,4	-227,1	-6,2	-2684,9	7603,4	67,3	792,1
2005-2006	-2936,5	2240,0	50,1	-15,3	3790,6	-11099,9	-59,8	-8030,7
2006-2007	17311,7	2109,7	-118,2	-25,6	3796,7	-9880,8	-51,0	13142,4
2007-2008	-937,8	469,4	-128,2	8,1	-4578,5	10260,5	-270,4	4823,0
2008-2009	-9393,2	1012,8	122,2	-27,9	-1186,0	2909,0	-46,9	-6610,1
2009-2010	-3832,9	-474,6	-227,3	1,2	-9658,2	29307,0	2,8	15117,9
2010-2011	4938,8	278,7	86,9	-84,3	4387,8	-12662,3	7036,4	3981,9
2011-2012	14979,5	-1231,1	158,1	-54,6	1728,9	-4386,4	143,9	11338,2
2012-2013	-6958,3	378,3	1,5	-44,7	1373,9	-3763,2	-32,4	-9045,1

Anexo 6. Valores sectoriales para el factor de descomposición de CI. Emisiones de CO₂-eq (Gg).

Años	CI Energía	CI Transporte	CI Industria	CI Solvente	CI Agricultura	CI Forestal	CI Residuos
1991-1992	9532,0	713,7	1230,5	6,2	1139,2	-5752,0	680,2
1992-1993	-1841,2	9,7	-62,2	-10,6	11401,6	-36744,9	-228,2
1993-1994	-6885,8	2398,5	-1083,4	-18,2	-13344,4	43949,7	-839,3
1994-1995	-1054,3	2038,3	-706,7	-9,0	-465,0	4049,6	-225,7
1995-1996	-9698,7	930,2	-1361,9	-14,4	-6493,9	21376,6	-1052,2
1996-1997	3816,9	89,2	368,4	-28,3	-2042,2	3431,5	36,5
1997-1998	-18207,7	706,4	-1257,6	-4,6	2780,3	-5721,7	-962,7
1998-1999	-412,0	953,3	-1143,4	-83,7	-5914,2	19302,2	-601,9
1999-2000	-110,2	-1266,8	1630,4	97,3	1370,1	-14140,0	607,7
2000-2001	8292,7	-1187,6	-234,0	80,6	2194,9	-8404,9	119,2
2001-2002	-10263,6	1220,5	272,0	-48,3	-4211,2	28270,0	40,8
2002-2003	4906,9	-444,3	-1054,8	-27,3	582,9	-16406,7	-108,5
2003-2004	-9020,1	-234,2	-345,0	-48,0	2952,1	-832,6	-385,4
2004-2005	7238,9	199,1	1133,7	22,6	2820,2	-9802,5	602,6
2005-2006	2950,4	-3012,6	271,5	8,4	-4258,7	11672,9	-145,3
2006-2007	-7172,4	-1662,8	-2526,8	-6,8	-7404,9	28666,4	-1389,7
2007-2008	121,9	36,2	-470,8	133,8	3895,1	-7704,0	7,3
2008-2009	2099,4	105,2	-494,9	-65,8	1442,0	-10564,5	-77,3
2009-2010	-1550,6	-510,3	-1054,7	72,4	8238,3	-33378,7	-471,5
2010-2011	-5693,5	-520,9	204,0	-28,5	-6936,0	25895,7	-7399,4
2011-2012	-15503,6	424,0	-95,2	125,6	-591,5	8319,7	-185,8
2012-2013	-802,8	107,7	-1259,4	-27,6	-2049,1	-1358,6	-70,8

Anexo 7. Valores sectoriales para el factor de descomposición de P. Emisiones de CO₂-eq (Gg).

Años	RES Energía	RES Transporte	RES Industria	RES Solvente	RES Agricultura	RES Forestal	RES Residuos	RES TOTAL
1991-1992	-6760,0	0,0	-1047,0	-28,3	-3953,0	12956,9	-812,9	355,7
1992-1993	465,7	0,1	79,5	1,8	269,4	-893,3	56,0	-20,8
1993-1994	5862,3	-0,1	988,1	20,4	3241,2	-10554,5	682,8	240,2
1994-1995	1129,7	-0,1	181,1	3,9	595,1	-1868,0	127,9	169,6
1995-1996	7812,7	0,0	1150,5	25,0	3739,4	-11082,1	818,1	2463,6
1996-1997	-1593,5	0,0	-216,7	-4,5	-647,7	1931,6	-145,7	-676,4
1997-1998	8895,2	0,0	1211,1	23,5	3330,9	-9943,7	773,0	4289,9
1998-1999	5928,3	0,0	833,1	9,1	2165,9	-6034,2	510,6	3412,7
1999-2000	-6699,7	0,1	-1074,2	-11,7	-2491,9	7563,2	-601,7	-3316,0
2000-2001	-2096,0	0,0	-382,4	-9,1	-829,4	2859,4	-214,1	-671,6
2001-2002	-1083,3	0,0	-202,0	-5,0	-434,3	1228,9	-117,9	-613,6
2002-2003	3139,1	0,0	596,4	12,5	1228,5	-3417,3	354,0	1913,3
2003-2004	2268,4	0,0	421,5	7,5	837,0	-2558,6	253,7	1229,6
2004-2005	-5512,3	0,0	-1024,3	-14,8	-1951,3	5526,0	-611,9	-3588,6
2005-2006	-1773,2	0,1	-338,7	-4,9	-618,7	1811,7	-194,9	-1118,5
2006-2007	10672,3	0,1	1826,9	25,5	3383,8	-8806,3	999,2	8101,4
2007-2008	-829,8	0,0	-121,9	-2,8	-240,9	539,8	-67,7	-723,3
2008-2009	-962,4	0,0	-133,3	-3,9	-276,8	679,0	-77,8	-775,2
2009-2010	4115,8	0,0	523,0	16,3	1134,0	-3441,1	329,6	2677,6
2010-2011	2927,1	0,0	430,0	10,0	849,7	-2452,0	238,7	2003,6
2011-2012	-963,6	0,0	-133,5	-3,9	-277,2	703,2	-77,9	-752,8
2012-2013	4152,5	0,0	527,6	16,4	1144,1	-3133,9	332,5	3039,2

Anexo 8. Valores sectoriales para el factor de descomposición de ES. Emisiones de CO₂-eq (Gg).

Años	ES Energía	ES Transporte	ES Industria	ES Solvente	ES Agricultura	ES Forestal	ES Residuos	ES TOTAL
1991-1992	3016,6	546,3	-117,8	0,2	85,4	-280,0	-103,4	3147,4
1992-1993	-288,3	-41,8	6,7	0,8	-391,1	1296,9	-66,0	517,2
1993-1994	231,1	21,6	-18,7	-0,9	259,2	-844,2	-34,9	-386,8
1994-1995	-373,6	537,1	-24,9	-1,4	-322,4	1012,0	-161,9	664,9
1995-1996	-5552,8	-673,4	-332,5	-11,4	-1797,4	5326,8	-300,3	-3341,0
1996-1997	-160,7	561,1	-1,4	0,6	-588,5	1755,1	-68,6	1497,6
1997-1998	-762,2	258,5	16,0	-2,0	146,1	-436,1	-70,3	-850,0
1998-1999	-2848,3	-302,3	73,4	-0,1	-265,3	739,1	-15,4	-2618,9
1999-2000	534,2	314,2	-22,9	1,3	359,3	-1090,5	-70,3	25,5
2000-2001	-924,8	178,5	11,6	-4,4	338,8	-1168,1	-29,5	-1597,9
2001-2002	-459,4	552,4	-43,6	2,4	309,3	-875,2	-3,1	-517,1
2002-2003	-190,6	735,7	-28,5	-4,3	-144,6	402,2	-83,9	686,0
2003-2004	-337,2	-301,8	22,7	0,9	901,5	-2755,7	-51,2	-2520,9
2004-2005	398,7	-104,6	-14,9	2,2	827,3	-2342,9	-46,3	-1280,4
2005-2006	903,4	-48,8	-32,2	4,2	589,1	-1725,1	-38,0	-347,5
2006-2007	-14282,2	64,2	205,4	-1,2	-114,2	297,1	78,6	- 13752,2
2007-2008	394,3	-371,7	-5,8	1,5	488,7	-1095,2	70,1	-518,1
2008-2009	6483,6	-1021,3	-5,6	-7,8	-666,1	1633,7	145,6	6562,2
2009-2010	1355,2	269,6	-16,8	0,5	-635,1	1927,2	-9,0	2891,7
2010-2011	2407,9	41,7	-50,7	-10,0	704,7	-2033,6	25,9	1085,9
2011-2012	1176,6	536,3	-20,8	-6,1	-1050,0	2663,8	-16,4	3283,5
2012-2013	2376,0	-26,5	-15,3	-4,5	-593,6	1626,0	17,7	3379,7

Anexo 9. Análisis de desacoplamiento de segundo nivel a nivel sectorial.

AñosSector/año	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2 010-2011	2011-2012	2012-2013
δCI Energía	-12,22	2,36	8,83	1,35	12,44	-4,90	23,35	0,53	0,14	-10,64	13,16	-6,29	11,57	-9,28	-3,78	9,20	-0,16	-2,69	1,99	7,30	19,88	1,03
δCI Transporte	-0,92	-0,01	-3,08	-2,61	-1,19	-0,11	-0,91	-1,22	1,62	1,52	-1,57	0,57	0,30	-0,26	3,86	2,13	-0,05	-0,13	0,65	0,67	-0,54	-0,14
δCI Industria	-1,58	0,08	1,39	0,91	1,75	-0,47	1,61	1,47	-2,09	0,30	-0,35	1,35	0,44	-1,45	-0,35	3,24	0,60	0,63	1,35	-0,26	0,12	1,62
δCI Solvente	-0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,11	-0,12	-0,10	0,06	0,03	0,06	-0,03	-0,01	0,01	-0,17	0,08	-0,09	0,04	-0,16	0,04
δCI Agricultura	-1,46	-14,62	17,11	0,60	8,33	2,62	-3,57	7,59	-1,76	-2,82	5,40	-0,75	-3,79	-3,62	5,46	9,50	-5,00	-1,85	-10,57	8,90	0,76	2,63
δCI Forestal	7,38	47,13	-56,37	-5,19	-27,42	-4,40	7,34	-24,76	18,13	10,78	-36,26	21,04	1,07	12,57	-14,97	-36,77	9,88	13,55	42,81	-33,21	-10,67	1,74
δCI Residuos	-0,87	0,29	1,08	0,29	1,35	-0,05	1,23	0,77	-0,78	-0,15	-0,05	0,14	0,49	-0,77	0,19	1,78	-0,01	0,10	0,60	9,49	0,24	0,09
δCI TOTAL	-9,68	64,41	-60,75	-3,43	-1,28	-3,79	27,31	182,68	12,25	-1,82	-45,33	14,30	5,65	-1,50	-4,81	-8,17	3,28	-7,72	16,93	-2,54	3,50	3,71
δRES Energía	8,67	-0,60	-7,52	-1,45	-10,02	2,04	-11,41	-7,60	8,59	2,69	1,39	-4,03	-2,91	7,07	2,27	-13,69	1,06	1,23	-5,28	-3,75	1,24	-5,33
δRES Transporte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
δRES Industria	1,34	-0,10	-1,27	-0,23	-1,48	0,28	-1,55	-1,07	1,38	0,49	0,26	-0,76	-0,54	1,31	0,43	-2,34	0,16	0,17	-0,67	-0,55	0,17	-0,68
δRES Solvente	0,04	0,00	-0,03	0,00	-0,03	0,01	-0,03	-0,01	0,02	0,01	0,01	-0,02	-0,01	0,02	0,01	-0,03	0,00	0,00	-0,02	-0,01	0,00	-0,02
δRES Agricultura	5,07	-0,35	-4,16	-0,76	-4,80	0,83	-4,27	-2,78	3,20	1,06	0,56	-1,58	-1,07	2,50	0,79	-4,34	0,31	0,36	-1,45	-1,09	0,36	-1,47
δRES Forestal	-16,62	1,15	13,54	2,40	14,21	-2,48	12,75	7,74	-9,70	-3,67	-1,58	4,38	3,28	-7,09	-2,32	11,29	-0,69	-0,87	4,41	3,14	-0,90	4,02
δRES Residuos	1,04	-0,07	-0,88	-0,16	-1,05	0,19	-0,99	-0,65	0,77	0,27	0,15	-0,45	-0,33	0,78	0,25	-1,28	0,09	0,10	-0,42	-0,31	0,10	-0,43
δRES TOTAL	-0,46	0,05	-0,60	-0,16	-0,86	0,45	-5,17	51,52	3,44	1,42	1,82	-2,18	-0,88	2,43	0,72	-7,78	0,60	-0,79	-1,58	-0,92	0,35	-2,07
δEI Energía	10,26	-1,81	-1,46	0,51	-9,71	-1,59	-10,44	0,74	-1,06	9,69	-14,65	10,60	-11,66	5,60	3,77	-22,20	1,20	12,05	4,92	-6,33	-19,21	8,92
δEI Transporte	1,93	-0,66	2,72	3,12	1,37	1,03	1,09	0,84	-0,78	-0,04	2,06	1,11	-0,42	-0,53	-2,87	-2,71	-0,60	-1,30	0,61	-0,36	1,58	-0,49
δEI Industria	-0,30	0,05	-0,05	-0,22	-0,18	-0,05	-0,06	-0,72	-0,13	-0,26	-0,20	-0,50	0,00	0,29	-0,06	0,15	0,16	-0,16	0,29	-0,11	-0,20	0,00
δEI Solvente	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	-0,03	0,03	-0,01	0,01	0,00	0,02	-0,05	0,02	0,01	0,02	0,03	-0,01	0,04	0,00	0,11	0,07	0,06
δEI Agricultura	-2,05	15,22	-11,92	0,92	-3,33	-2,83	8,76	-5,07	-0,07	2,89	-5,36	3,16	6,28	3,44	-4,86	-4,87	5,87	1,52	12,39	-5,63	-2,22	-1,76
δEI Forestal	6,70	-50,48	38,83	-2,89	9,88	8,43	-26,14	14,14	0,20	-9,96	15,16	-8,78	-19,19	-9,75	14,24	12,67	-13,16	-3,73	-37,59	16,24	5,63	4,83
δEI Residuos	-0,06	-0,16	-0,17	-0,15	-0,21	-0,06	-0,27	-0,14	-0,04	-0,39	-0,09	-0,04	-0,12	-0,09	0,08	0,07	0,35	0,06	0,00	-9,02	-0,18	0,04
δEI TOTAL	16,47	-69,13	54,75	0,96	-0,59	2,55	-25,40	-114,88	-1,50	3,19	-7,11	4,88	-13,98	-0,54	5,16	-12,63	-3,98	-6,75	-8,93	-1,83	-5,29	6,15
δES Energía	-3,87	0,37	-0,30	0,48	7,12	0,21	0,98	3,65	-0,69	1,19	0,59	0,24	0,43	-0,51	-1,16	18,32	-0,51	-8,32	-1,74	-3,09	-1,51	-3,05
δES Transporte	-0,70	0,05	-0,03	-0,69	0,86	-0,72	-0,33	0,39	-0,40	-0,23	-0,71	-0,94	0,39	0,13	0,06	-0,08	0,48	1,31	-0,35	-0,05	-0,69	0,03
δES Industria	0,15	-0,01	0,02	0,03	0,43	0,00	-0,02	-0,09	0,03	-0,01	0,06	0,04	-0,03	0,02	0,04	-0,26	0,01	0,01	0,02	0,07	0,03	0,02
δES Solvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
δES Agricultura	-0,11	0,50	-0,33	0,41	2,31	0,75	-0,19	0,34	-0,46	-0,43	-0,40	0,19	-1,16	-1,06	-0,76	0,15	-0,63	0,85	0,81	-0,90	1,35	0,76
δES Forestal	0,36	-1,66	1,08	-1,30	-6,83	-2,25	0,56	-0,95	1,40	1,50	1,12	-0,52	3,53	3,00	2,21	-0,38	1,40	-2,10	-2,47	2,61	-3,42	-2,09
δES Residuos	0,13	0,08	0,04	0,21	0,39	0,09	0,09	0,02	0,09	0,04	0,00	0,11	0,07	0,06	0,05	-0,10	-0,09	-0,19	0,01	-0,03	0,02	-0,02
δES TOTAL	-4,04	-1,21	0,97	-0,63	1,16	-1,00	1,02	-39,54	-0,03	3,37	1,53	-0,78	1,80	0,87	0,22	13,21	0,43	6,70	-1,71	-0,50	-1,53	-2,30
δP Energía	-0,50	-0,51	-0,53	-0,55	-0,50	-0,59	-0,63	-0,63	-0,62	-0,49	-0,27	-0,47	-0,48	-0,50	-0,52	-0,59	-0,67	-0,68	-0,68	-0,68	-0,66	-0,64
δP Transporte	-0,23	-0,25	-0,25	-0,24	-0,20	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,16	-0,09	-0,15	-0,15	-0,14	-0,15	-0,15	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,15	-0,15
δP Industria	-0,08	-0,09	-0,09	-0,09	-0,07	-0,08	-0,09	-0,09	-0,10	-0,09	-0,05	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	-0,10	-0,09	-0,08
δP Solvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
δP Agricultura	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29	-0,24	-0,24	-0,23	-0,23	-0,23	-0,19	-0,11	-0,19	-0,18	-0,18	-0,18	-0,19	-0,20	-0,20	-0,19	-0,20	-0,19	-0,18
δP Forestal	0,96	0,97	0,95	0,91	0,71	0,71	0,70	0,65	0,70	0,67	0,30	0,51	0,55	0,51	0,53	0,49	0,44	0,48	0,56	0,57	0,48	0,49
δP Residuos	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05	-0,03	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,05
δP TOTAL	-0,21	-0,41	-0,52	-0,24	-0,10	-0,23	-0,46	6,52	-0,40	-0,52	-0,55	-0,39	-0,23	-0,25	-0,24	-0,45	-0,48	0,57	-0,28	-0,22	-0,24	-0,33
δt	2,09	-6,31	-6,16	-3,51	-1,66	-2,02	-2,69	86,30	13,77	5,64	-49,63	15,83	-7,63	1,01	1,06	-15,81	-0,15	-7,99	4,43	-6,01	-3,21	5,17

Anexo 10. Radiación global en Temuco. W / m2. Promedio 2004–2016.

Mes	Horario																									
	00:00 to 23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
Enero	282.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	52.2	205.3	400.1	601.1	755.8	845.2	895.5	863.5	768.1	637.7	446.4	237.2	49.5	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Febrero	269.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	167.5	341.7	550.3	686.0	825.0	879.5	860.4	771.5	630.6	446.7	228.0	43.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Marzo	235.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	201.8	301.8	477.5	612.1	728.4	785.0	759.3	664.1	557.6	367.3	180.9	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abril	172.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	145.2	200.4	343.4	465.8	573.4	603.0	595.0	516.3	409.6	252.8	35.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mayo	131.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.1	278.8	255.8	342.2	439.8	473.0	440.2	368.1	383.0	141.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Junio	106.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	241.9	202.9	275.6	339.5	383.6	356.5	296.8	423.2	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Julio	114.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	252.6	209.6	298.4	368.5	393.8	387.7	324.9	367.5	146.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agosto	141.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.7	253.9	286.5	372.6	461.1	489.0	454.7	387.0	364.7	229.2	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septiembre	197.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	222.8	339.2	426.9	560.9	616.5	640.0	613.3	530.6	420.3	247.1	94.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octubre	212.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	79.6	200.9	367.1	509.5	604.8	674.4	695.4	617.4	516.9	421.4	269.9	129.6	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Noviembre	237.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	96.1	247.4	419.7	541.9	627.3	728.7	745.8	696.9	605.4	475.6	316.9	135.0	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre	258.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6	89.3	236.1	404.4	563.1	686.8	784.3	792.2	767.2	675.4	553.5	375.6	188.0	45.2	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 11.Sombra por topografía en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin sombra; 1 = sombra.

Meses	Horarios																								
	00:00 to 23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Enero a Diciembre	0.5209	1	1	1	1	1	1	0.7595	0.4952	0.2067	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1538	0.4006	0.5994	0.8861	1	1	1
Enero	0.3965	1	1	1	1	1	1	0.3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1861	1	1	1
Febrero	0.4583	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Marzo	0.5068	1	1	1	1	1	1	1	0.4615	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7022	1	1	1	1
Abril	0.5715	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7179	1	1	1	1	1
Mayo	0.6169	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3945	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4119	1	1	1	1	1	1
Junio	0.6666	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Julio	0.6430	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4342	1	1	1	1	1	1
Agosto	0.5869	1	1	1	1	1	1	1	1	0.0868	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Septiembre	0.5238	1	1	1	1	1	1	1	1	0.4820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0897	1	1	1	1	1
Octubre	0.4698	1	1	1	1	1	1	1	0.7841	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4913	1	1	1	1
Noviembre	0.4166	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Diciembre	0.3936	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4472	1	1	1

Anexo 12. Presencia de nubes en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin nubes; 1 = nubes. Presencia de nubes en la ciudad de Temuco. Promedio 2004–2016. 0 = sin nubes; 1 = nubes.

Meses	Horarios																										
	00:00 to 23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00		
Enero a Diciembre	0.1844	0	0	0	0	0	0	0.0044	0.1395	0.2176	0.3631	0.5399	0.5390	0.5158	0.4924	0.4824	0.4657	0.3059	0.2331	0.1271	0.0008	0.0002	0	0	0	0	
Enero	0.1372	0	0	0	0	0	0	0.0099	0.3027	0.4640	0.3399	0.2804	0.2679	0.2977	0.2704	0.2605	0.2332	0.2009	0.1786	0.1861	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0.1397	0	0	0	0	0	0	0	0.0163	0.4347	0.4510	0.3451	0.3478	0.3070	0.2934	0.2744	0.2445	0.2255	0.1929	0.2201	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0.1460	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0074	0.5037	0.4491	0.4416	0.4094	0.7469	0.3523	0.3523	0.2804	0.2655	0.0694	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0.1923	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0076	0.6692	0.6205	0.5923	0.5256	0.5102	0.4666	0.4512	0.3974	0.2923	0.0820	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	0.1706	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1612	0.6823	0.6873	0.6129	0.5756	0.5806	0.5682	0.2183	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0
Junio	0.1708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0025	0.6948	0.7256	0.7076	0.6615	0.6641	0.643	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julio	0.1817	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0074	0.7096	0.7146	0.6923	0.6749	0.6451	0.6426	0.2655	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0.2086	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3325	0.6625	0.6774	0.6277	0.6129	0.6228	0.6178	0.4392	0.2928	0.1215	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre	0.1902	0	0	0	0	0	0	0	0.0025	0.0256	0.4179	0.5564	0.5153	0.5461	0.5230	0.5	0.4794	0.4487	0.4461	0.1051	0	0	0	0	0	0	0
Octubre	0.2356	0	0	0	0	0	0	0.0173	0.2134	0.6005	0.5533	0.5310	0.5434	0.5558	0.5310	0.5533	0.5558	0.4888	0.4466	0.0645	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0.2394	0	0	0	0	0	0	0.0205	0.5794	0.5461	0.4666	0.5153	0.5282	0.5	0.4769	0.4820	0.4461	0.4076	0.3820	0.3948	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0.2012	0	0	0	0	0	0	0.0050	0.560	0.5251	0.4522	0.4321	0.4271	0.4070	0.4045	0.3869	0.3542	0.2989	0.2814	0.2814	0.0100	0.0025	0	0	0	0	0

Anexo 13. Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en los hombres siguiendo los criterios de VVE. Año 2013.

	% de muertes	Rango (%)	Tipo de contaminación	Atribución de factores de riesgo	Rango (%)	Valor monetario ponderado de muertes (US \$ 2013)
Enfermedad isquémica del corazón Carrera	11,88	11,49-12,33	Contaminación ambiental por partículas	12,48	8,35-15,38	2584879
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,46	0,7-2,77	175253
Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar Infecciones respiratorias inferiores	8,43	8,09-8,82	Contaminación ambiental por partículas	7,88	4,86-10,41	1158145
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	0,86	0,39-1,66	147896
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica Enfermedad isquémica del corazón	3,57	3,44-3,72	Contaminación ambiental por partículas	13,56	6,3-20,99	1704004
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,54	0,69-2,94	112155
Carrera Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar	3,66	3,49-3,84	Contaminación ambiental por partículas	19,5	8,4-28,64	2512224
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,24	1,04-4,09	167247
Infecciones respiratorias inferiores	3,9	3,58-4,33	Contaminación ambiental por partículas	20,37	9,55-30,46	2796394
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,35	0,93-4,68	186966
Diabetes mellitus	2,63	2,52-2,75	Contaminación ambiental por partículas	22,2	11,3-27,89	2055187
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,61	1,16-5,22	140032
Total						13740383

Anexo 14. Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en las mujeres siguiendo los criterios de VVE. Año 2013.

Afecciones	% de muertes	Rango (%)	Tipo de contaminación	Atribución de factores de riesgo	Rango (%)	Valor monetario ponderado de muertes (US \$ 2013)
Enfermedad isquémica del corazón Carrera	10	9,62-10,53	Contaminación ambiental por partículas	9,44	5,79-11,98	3322880
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,91	1-3,3	389640
Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar Infecciones respiratorias inferiores	10,11	9,68-10,64	Contaminación ambiental por partículas	6,54	3,79-8,77	2327403
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,32	0,67-2,31	272242
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica Enfermedad isquémica del corazón	2,83	2,71-2,95	Contaminación ambiental por partículas	13,05	5,9-20,32	1299989
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,58	1,23-4,63	148949
Carrera Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar	4,32	4,12-4,53	Contaminación ambiental por partículas	18,77	8,28-27,83	2854241
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	3,68	1,84-6,37	324311
Infecciones respiratorias inferiores	3,74	3,41-4,52	Contaminación ambiental por partículas	19,27	8,63-28,8	2536857
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	3,85	1,73-6,94	293740
Diabetes mellitus	3,08	2,94-3,22	Contaminación ambiental por partículas	21,39	10,96-27,56	2319018
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	4,35	2,04-7,91	273319
Total						16362589

Anexo 15. Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y la contaminación del aire de los hogares por combustibles fósiles en los hombres siguiendo los criterios de ECH. Año 2013.

Afecciones	% de muertes	Rango (%)	Tipo de contaminación	Atribución de factores de riesgo	Rango (%)	Valor monetario ponderado de muertes (US \$ 2013)
Enfermedad isquémica del corazón Carrera	5,99	5,35-6-68	Contaminación ambiental por partículas	14,16	9,32-17,63	3322880
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,65	0,79-3,12	389640
Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar Infecciones respiratorias inferiores	4,23	3,82-4,61	Contaminación ambiental por partículas	8,8	5,52-11,61	2327403
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,03	0,5-1,97	272242
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica Enfermedad isquémica del corazón	1,81	1,61-2,02	Contaminación ambiental por partículas	13,54	6,28-20,96	1299989
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1,54	0,68-2,93	148949
Carrera Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar	1,55	1,36-1,75	Contaminación ambiental por partículas	19,45	8,39-28,58	2854241
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,34	1,1-4,24	324311
Infecciones respiratorias inferiores	1,92	1,68-2,19	Contaminación ambiental por partículas	20,07	9,41-29,96	2536857
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,31	0,92-4,62	293740
Diabetes mellitus	3,4	2,99-3,86	Contaminación ambiental por partículas	22,57	11,5-28,33	2319018
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2,65	1,17-5,31	273319
Total						12300597

Anexo 16. Impacto monetario de la contaminación del material particulado ambiental y de la contaminación atmosférica de los combustibles fósiles en las mujeres, siguiendo los criterios de ECH. Año 2013.

Afecciones	% de muertes	Rango (%)	Tipo de contaminación	Atribución de factores de riesgo	Rango (%)	Valor monetario ponderado de muertes (US \$ 2013)
Enfermedad isquémica del corazón Carrera	3,38	2.94-3.86	Contaminación ambiental por partículas	11.25	7.02-14.22	1,030,613
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2.28	1.17-3.99	121,050
Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar Infecciones respiratorias inferiores	4,4	3.89-4.92	Contaminación ambiental por partículas	7.58	4.49-10.15	903,958
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	1.53	0.78-2.66	105,745
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica Enfermedad isquémica del corazón	1,36	1.16-1.58	Contaminación ambiental por partículas	13.03	5.88-20.28	480,297
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	2.57	1.23-4.61	54,902
Carrera Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar	1,28	1.1-1.5	Contaminación ambiental por partículas	18.81	8.29-27.87	652,567
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	3.6	1.8-6.19	72,381
Infecciones respiratorias inferiores	2,2	1.85-2.61	Contaminación ambiental por partículas	18.91	8.46-28.31	1,127,563
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	3.78	1.7-6.82	13626
Diabetes mellitus	3,65	3.25-4.08	Contaminación ambiental por partículas	21.29	10.92-27.38	2,106,178
			Contaminación del aire del hogar por combustibles fósiles	4.33	2.03-7.87	248,253
Total						7,034,132

Anexo 17. Costos monetarios de accidentes de tránsito causados por partículas ambientales en Temuco.

Efecto	Número	Costos ponderados USD 2013	
		Costos internos	Costos externos
Muertos	33	8112823	48845
Heridos graves	515	49669305	1299140
Heridos leves	2180	14609047	3007639
Total	2728	72391175	4355623

Anexo 18.Emisiones totales y emisiones no fijadas debido a la combustión de leña por hogar en Temuco.

Superficie m ²	Número	Requerimientos de leña por día (Kgs)		Total de emisiones de CO ₂ de la combustión HDD ≤ 15 °C	Total de emisiones de CO ₂ de la combustión HDD ≤ 18 °C	Total de emisiones de CO ₂ no fijadas HDD ≤ 15 °C	Total de emisiones de CO ₂ no fijadas HDD ≤ 18 °C	Total de partículas importadas las emisiones de la combustión HDD ≤ 15 °C	Total de partículas importadas las emisiones de la combustión HDD ≤ 18 °C
		HDD ≤ 15 °C	HDD ≤ 18 °C						
1--35	5719	6,3	4,7	592695370	927393932	16848892	26363561	50041670	78300495
36--50	6656	6,6	4,7	689811912	1136160796	19609680	32298297	58241285	95926822
51--70	12388	9,0	6,0	1626125618	2869633443	46226809	81576721	137294882	242285085
71--100	2576	14,1	8,8	498395110	938155502	14168165	26669486	42079835	79209101
101--140	1461	19,3	11,3	363433336	726866671	10331529	20663057	30684921	61369843
> 140	866	23,2	12,9	245395840	519661779	6976009	14772724	20718936	43875394