

TENDENCIAS DE LAS EMISIONES DE GEI DE HOGARES POR USO DE ENERGÍA EN CUATRO CIUDADES CHILENAS DURANTE EL COVID-19

SÍNTESIS DE INVESTIGACIÓN

Noviembre 2022
N°14



CEDEUS

Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable

TENDENCIAS DE LAS EMISIONES DE GEI DE HOGARES POR USO DE ENERGÍA EN CUATRO CIUDADES CHILENAS DURANTE EL COVID-19

© Centro de Desarrollo Urbano Sustentable
CEDEUS

Autores

Carolina Rojas, François Simon, Iván Muniz, Marc Quintana, Felipe Irrarrázaval, Caroline Stamm, Benedita Santos

Cómo citar este documento:

Rojas, C., Simon, F., Muniz, I., et al., (2022). *Tendencias de las emisiones de GEI de hogares por uso de energía en cuatro ciudades chilenas durante el COVID-19.* Síntesis de Investigación N°14. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago. <https://doi.org/10.7764/cedeus.si.14>



Atribución-NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC 4.0)
Primera edición
Noviembre 2022 / N°14



Los cambios en los patrones de consumo doméstico de energía observados durante la pandemia de coronavirus 2019 (COVID-19) han tenido un impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los hogares. El documento presenta los hallazgos de una encuesta dirigida a 1200 hogares en cuatro ciudades del centro-sur de Chile, que proporciona la información para calcular directamente las emisiones de GEI relacionadas con el uso residencial de energía. Los resultados muestran que las emisiones de GEI relacionadas con la calefacción han aumentado moderadamente durante la pandemia del COVID-19 (entre el 1 y el 6%), mientras que las emisiones del consumo de electricidad y gas para usos distintos a la calefacción han aumentado significativamente (entre el 8 y el 23%). Esto ha perjudicado la economía de los hogares, destacando la importancia de considerar aspectos socioeconómicos al evaluar el impacto del COVID-19 en las emisiones de GEI de los hogares.

INTRODUCCIÓN

Si bien es evidente que las medidas de confinamiento debidas a la pandemia de COVID-19 han tenido efectos negativos en la economía de las sociedades [1-3], también han resultado en una reducción de las emisiones de CO₂ a nivel global [4-7] y local [8-13]. La mayoría de los estudios han calculado la variación en las emisiones de GEI relacionadas con el uso de energía durante la pandemia de COVID-19 utilizando un método top-down [4, 5, 7], es decir extrapolando las tendencias anuales a mensuales utilizando datos agregados de consumos de energía disponibles mensual o diariamente. Los estudios en los diferentes países también han extrapolado emisiones nacionales promedio a unidades territoriales más pequeñas, como provincias y ciudades [9]. Aunque el uso de extrapolaciones y proxys reduce la precisión de los datos obtenidos, estas estimaciones funcionan como una primera aproximación al orden de magnitud de la variación de las emisiones. A diferencia de estos estudios, esta investigación emplea un método bottom-up que consiste en encuestar directamente los hogares sobre sus consumos de energía. De esta forma, se evita la necesidad de extrapolar valores expresados en periodos y escalas territoriales mayores.

A pesar de que el COVID-19 ha logrado una reducción abrupta de las emisiones de CO₂ como ninguna política ambiental hasta el momento, sus efectos a largo plazo aún están por verse [14]. Una razón para ser escépticos con respecto a los efectos a largo plazo es la forma en que las medidas sanitarias han impactado en las prácticas cotidianas. Los confinamientos y las restricciones de movilidad han provocado pérdidas de empleo repentinas y masivas, o en el mejor de

los casos, han transformado el trabajo presencial en teletrabajo, afectando la economía y los estilos de vida de los hogares. Como resultado, los confinamientos pueden haber aumentado las facturas de energía de los hogares [15], así como agravar la situación ya existente de pobreza energética [16]. Este estudio contribuye en este aspecto al examinar las tendencias en las emisiones de GEI relacionadas con el consumo de energía de los hogares antes y durante la pandemia en cuatro ciudades medianas del centro-sur de Chile: Coronel, Temuco, Valdivia y Osorno (Figura 1). En las cuatro ciudades estudiadas, el clima frío implica el uso masivo de calefacción. La Tabla 1 presenta las temperaturas medias anuales e invernales en las cuatro ciudades en 2020, junto con su variación en comparación con el mismo período en 2019 [17].

Los cambios de comportamientos deben ser un componente esencial de las políticas para reducir las emisiones de GEI y enfrentar el cambio climático [18], y en este sentido, el COVID-19 representa una oportunidad para analizar estos cambios y avanzar hacia prácticas más sostenibles a nivel de hogares. Por lo tanto, el análisis de estos datos y sus tendencias nos permite identificar más necesidades de investigación y desarrollo, y políticas, para lograr la sostenibilidad ambiental y económica.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Encuesta

La encuesta busca monitorear una misma cohorte de 1200 hogares entre el invierno de 2020 y el verano de 2021, con el fin de comparar patrones de consumo en el contexto de la pandemia de COVID-19, así como indagar situaciones previas del invierno de 2019. La encuesta

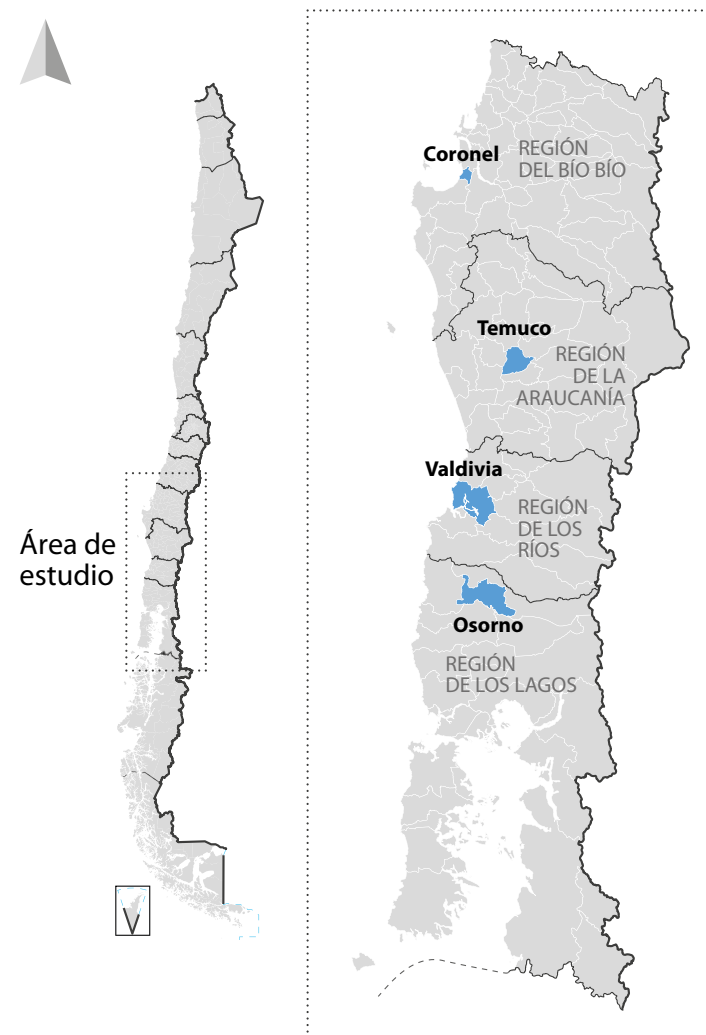


Figura 1. Áreas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Temperatura media en 2020 (variación respecto a 2019)	Coronel	Temuco	Valdivia	Osorno
Anual (Ene. 1st – Dic. 31st)	12.8°C (–0.08°C)	11.4°C (–0.08°C)	10.9°C (+0.07°C)	11.2°C (–0.22°C)
Invierno (Jun. 21st – Sept. 20th)	9.6°C (–0.03°C)	7.5°C (–0.27°C)	7.1°C (+0.05°C)	7.2°C (+0.08°C)

Tabla 1. Temperaturas medias anuales e invernales en las cuatro ciudades. Fuente: Explorador Climático CR2 [17].

es un cuestionario original inspirado de Muñiz y Rojas [19], que se realizó mediante un sistema de Entrevistas Telefónicas Asistidas por Computadora (CATI) durante septiembre de 2020, y por segunda vez durante enero de 2021. Las 1.200 encuestas a jefes de hogar se distribuyeron equitativamente entre las cuatro ciudades estudiadas, con muestras seleccionadas aleatoriamente de 300 hogares por ciudad.

1.2. Cálculo de emisiones de GEI relacionadas con el uso residencial de energía

Este estudio busca estimar las emisiones directas de GEI asociadas con la quema de combustible en los hogares, así como las emisiones indirectas de GEI debidas al uso de electricidad. La forma más efectiva de obtener los datos de consumo de combustibles y de electricidad de los hogares fue identificar el gasto monetario de cada hogar en cada energético. Luego, estos gastos fueron convertidos a cantidades unitarias de acuerdo con los precios estándar de mercado, en el momento del estudio, para cada energético y ciudad.

La evaluación de las emisiones de GEI se realizó multiplicando los consumos de energéticos de los hogares encuestados por sus respectivos factores de emisión (Tabla 2). Estos factores se obtienen de la base de datos del IPCC [20] y se convierten en kilogramos de CO₂ equivalente emitido por kilogramo de combustible (anotado kg_{CO₂-eq}/kg_{combustible}). La estimación del factor de emisión tiene en cuenta la cantidad de CO₂, además de las cantidades de CO₂ equivalente del metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) emitidos durante la combustión de 1 kg de cada combustible [21].

Tipo de combustible	Factor de emisión (kg _{CO₂-eq} /kg _{combustible})
Parafina	3.359
Gas natural	2.472
Gas Licuado de Petroleo (GLP)	3.202
Leña seca	1.767
Leña húmeda	1.263
Petroleo (Diesel)	3.399

Tabla 2. Factores de emisión de CO₂ equivalente. Fuente: Gómez et al. [20] y Forster et al. [21].

Si bien es obligatorio el uso de leña certificada por el Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL), según datos de la misma entidad, solo el 23% de la leña utilizada está certificada. Por tanto, se añade un factor de emisión correspondiente a madera húmeda (con un contenido de humedad por peso superior al 25%).

En cuanto a las emisiones de GEI asociadas a la combustión de leña, no existe un consenso claro entre los científicos [22]. Hay fuentes que reconocen a la leña como neutra en carbono, ya que se considera que el proceso de combustión emite la misma cantidad de CO₂ que la absorbida durante su crecimiento [23]. Y si bien esto parece ser cierto en los cálculos globales [24], si consideramos el ámbito de estudio a nivel nacional, vemos que las emisiones de GEI y de otros productos de combustión derivados de

	Ocupación (número de personas)	Superficie (m ²)	Número de habitaciones
Coronel	3.59	75.41	4.23
Temuco	3.36	94.94	4.53
Valdivia	3.31	98.83	5.08
Osorno	3.27	88.86	4.65
Total	3.38	90.41	4.54

Tabla 3. Medianas de ocupación, superficie y número de habitaciones de los hogares encuestados. Fuente: Elaboración propia.

la quema de madera son significativas, particularmente cuando se utiliza leña o carbón vegetal en chimeneas abiertas o en estufas de leña con baja eficiencia térmica [25]. Asimismo, el factor de emisión de la leña varía según la especie vegetal utilizada en su combustión [25]. El estudio utiliza el factor estandarizado del IPCC [20, 21], que considera el uso de leña certificada de eucalipto y pino. En el caso del carbón vegetal, existen más de 15 variedades utilizadas para la calefacción. Aunque tiene un origen diferente, sus condiciones de concentración y emisión de CO₂, CH₄ y N₂O son equivalentes, de forma que el factor de emisión calculado corresponde a la media de los factores individuales.

Para el cálculo de las emisiones de GEI relacionadas con el consumo de electricidad, convertimos el consumo monetario mensual (CLP) en kilogramo de CO₂ equivalente utilizando el precio promedio de electricidad de marzo de 2020, que incluye precio de mercado, cargo fijo e impuestos (159 CLP /kWh) [26, 27], y el factor de emisión de electricidad proporcionado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) de Chile para marzo de 2020

(0,4398 kg CO₂-eq/kWh) [28]. El factor de emisión de GEI de electricidad depende de las fuentes de energía primaria utilizadas para su generación, y se utiliza el mismo factor de emisión para las cuatro ciudades estudiadas por corresponder a un indicador nacional.

2. RESULTADOS

2.1. Consumo doméstico de energía

Los datos de la encuesta muestran una superficie media de vivienda de 90,4 metros cuadrados, y una ocupación media de 3,3 habitantes por hogar (Tabla 3). Solo el 31% de los hogares declararon que sus viviendas cuentan con aislamiento térmico. En las cuatro ciudades de estudio, la leña es el principal combustible utilizado para la calefacción en 2020 (Tabla 4). Mientras que la calefacción se produce a partir de la combustión de leña en el 66% de los hogares encuestados en Temuco, este valor alcanza el 80% en Coronel y Valdivia, y hasta 82% en Osorno. En Temuco, combustibles como la parafina (un derivado del petróleo utilizado en estufas) (10,7%), la electricidad (8%) y el gas (7%) tienen una participación más importante

	Leña				Parafina	Electricidad	Gas	Diesel	Carbón	Otro
	Seca	Húmeda	Pellet	Otro						
Coronel	75.0%	2.7%	2.3%	0%	7.3%	9.0%	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Temuco	54.0%	1.3%	10.0%	0.6%	10.7%	8.0%	7.0%	0.7%	0.0%	7.7%
Valdivia	67.3%	1.0%	10.7%	0.7%	5.3%	3.7%	3.0%	1.3%	0.3%	6.7%
Osorno	67.3%	4.0%	10.0%	0.7%	5.3%	6.0%	1.4%	1.0%	0.0%	4.3%
Total	65.9%	2.2%	8.2%	0.4%	7.2%	6.7%	3.8%	0.8%	0.1%	4.7%

Tabla 4. Combustibles utilizados para la calefacción en 2020 (proporción por tipo). Fuente: Elaboración propia.

	Leña	Parafina	Electricidad	GLP	Gas Natural	Carbón	Petróleo	Otros
Coronel	+5%	+7%	+25%	+16%	N/A	+4%	N/A	-10%
Temuco	+1%	+26%	+24%	-11%	+12%	N/A	0%	+19%
Valdivia	-3%	+56%	+36%	+22%	-14%	+100%	+6%	+38%
Osorno	+1%	+18%	+33%	+7%	+6%	N/A	-12%	+6%
Promedio	+1%	+27%	29%	+8%	+1%	+52%	-2%	+13%

Tabla 5. Diferencia de consumo de combustible para uso de calefacción entre 2019 y 2020. Fuente: Elaboración propia.

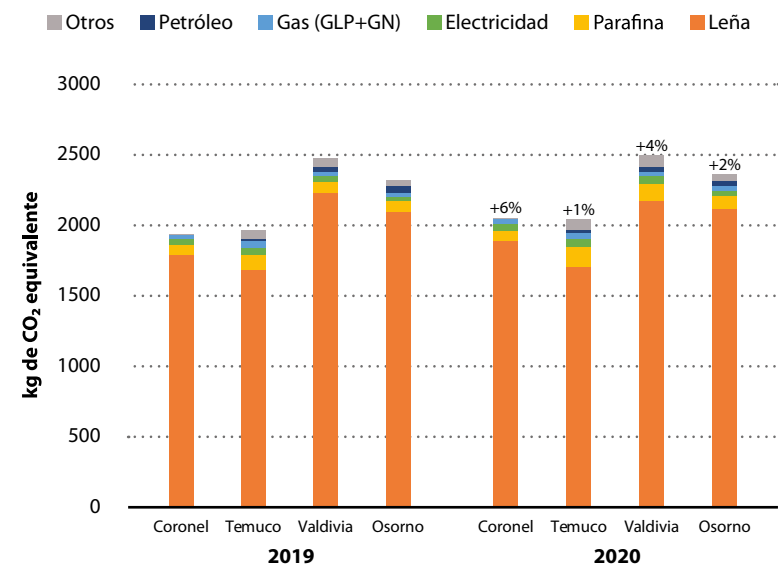
que en las otras tres ciudades. En cuanto al tipo de leña utilizada, las proporciones de leña seca y húmeda oscilan entre 67% y 75% para las ciudades de Temuco, Valdivia y Osorno, donde la participación del pellet es cercana al 10%. La leña húmeda parece tener una baja presencia en las respuestas de la encuesta en todas las ciudades, con una mayor participación en Osorno (4%). Cabe señalar que el uso de leña húmeda está prohibido por la ley, lo que puede haber influenciado sesgos en las respuestas. No se puede despreciar la participación de "otros" combustibles, particularmente para las ciudades de Temuco (7,7%) y Valdivia (6,7%). Combustibles como cáscaras de almendras y avellanas, o huesos de aceituna, entrarían generalmente en esta categoría, así como otros combustibles no autorizados como el carbón vegetal y la leña húmeda.

En comparación con 2019, la mayor parte del consumo de calefacción aumentó en 2020, con la excepción del petróleo (Tabla 5). Los mayores incrementos se observan en el consumo de energía eléctrica y parafina, mientras que el incremento en el consumo de leña es el menos significativo.

En cuanto al consumo de electricidad y gas para usos distintos a la calefacción, se observa un incremento significativo en todas las ciudades estudiadas entre marzo de 2020 (antes de la pandemia) y julio de 2020 (durante la pandemia) (Tabla 6). Esto se debe al hecho de pasar más tiempo en casa en julio de 2020, como resultado del confinamiento, aumentando la demanda de electricidad y gas para estudiar y trabajar en casa, así como para cocinar y producir agua caliente sanitaria.

	Electricidad	Gas
Coronel	+15%	+23%
Temuco	+18%	+18%
Valdivia	+14%	+8%
Osorno	+16%	+15%
Promedio	+16%	+16%

Tabla 6. Diferencia de consumo de combustibles para usos distintos a la calefacción entre marzo y julio de 2020. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Emisiones anuales de CO_{2-ec} por uso de calefacción (promedio por hogar). Fuente: Elaboración propia.

2.2. Emisiones de GEI del uso de calefacción

Las emisiones de CO_{2-ec} por hogar encuestado, debidas al uso de calefacción, están presentadas en la Figura 2 para cada ciudad del estudio. En general, se observa un aumento de emisiones de los hogares en todas las ciudades en el año 2020. El aumento de emisiones no es muy pronunciado, entre un 1 y un 6%, siendo Coronel la ciudad donde las emisiones por uso de calefacción más aumentaron. Esto se explica principalmente por el uso predominante de GLP, parafina y leña. Por lo tanto, se puede afirmar que las medidas sanitarias contra el COVID-19 hicieron aumentar las emisiones de GEI por uso de calefacción en las cuatro ciudades de estudio. El uso de calefacción corresponde a un promedio anual entre las cuatro ciudades de estudio en 2019 de casi 2.2 toneladas de CO_{2-ec} por hogar, cuyo 90% es atribuido al uso de leña. Este alto valor de emisión se debe en parte a la baja eficiencia energética de los sistemas de calefacción, pero también, y en proporciones mayores, a la baja eficiencia térmica de las viviendas [29]. En la muestra de

hogares encuestados, más de dos tercios (69%) declararon la ausencia de aislamiento térmico. Cabe mencionar que el valor de 2.2 t_{CO_{2-ec}} por hogar es más alto que el promedio nacional (1.56 t_{CO_{2-ec}}) calculado a partir del consumo promedio de calefacción a nivel nacional [30] junto con los factores de emisión de la Tabla 2, pero esto se debe principalmente al clima más frío en las cuatro ciudades de estudio que en otras partes del país.

2.3. Emisiones de GEI de usos distintos a la calefacción

Otra fuente de emisión de GEI en el sector residencial es el consumo de electricidad y gas para satisfacer la demanda de los hogares en equipamientos como electrodomésticos, horno, producción de agua caliente, e iluminación. Los resultados se resumen en la Figura 3.

Las emisiones de GEI por el uso de electricidad en equipos distintos a la calefacción aumentan en promedio en las cuatro ciudades estudiadas de 100 a 115 kg CO_{2-ec} por hogar. Con respecto al uso de gas para cocinar y/o

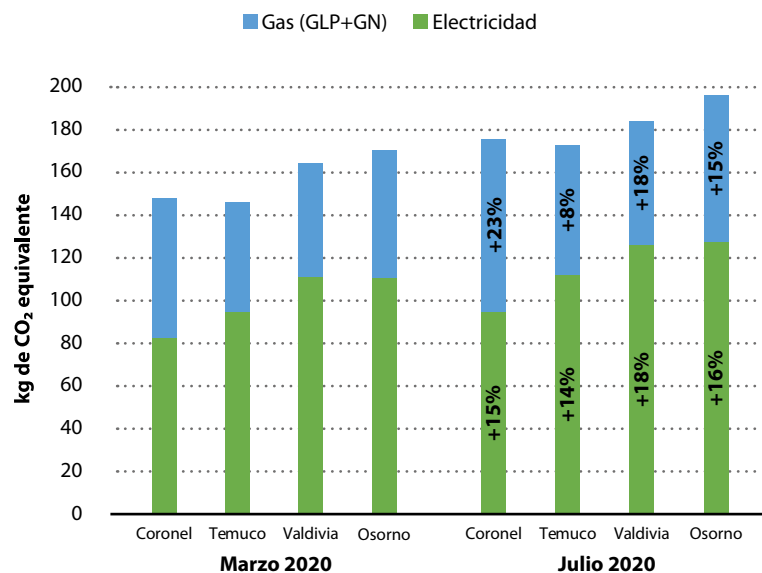


Figura 3. Emisiones mensuales de CO₂-eq por uso de electricidad y gas en servicios distintos a la calefacción (promedio por hogar). Fuente: Elaboración propia.

producción de agua caliente, también hay un aumento de 57 kg CO₂-eq por hogar en marzo de 2020 a 67 kg CO₂-eq por hogar en julio de 2020. Entre marzo y julio de 2020, período en el que se instauraron las políticas de confinamiento más restrictivas durante la primera ola de contagios, el consumo doméstico de gas y electricidad creció significativamente y, en consecuencia, también lo hicieron las emisiones de GEI relacionadas con estos consumos. Este resultado era esperado dado que los

trabajadores y estudiantes ocupaban sus hogares por más tiempo durante la pandemia, realizando actividades que normalmente se darían en escuelas, institutos y oficinas. Temuco y Osorno fueron las ciudades donde más crecieron las emisiones mensuales de GEI por consumo de electricidad entre marzo y julio de 2020 (+17.2 kg CO₂-eq por hogar), mientras que Coronel fue la ciudad donde más crecieron las emisiones mensuales de GEI por consumo de gas en el mismo periodo (+15.1 kg CO₂-eq por hogar).

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los confinamientos vigentes durante el invierno de 2020 en las cuatro ciudades de estudio han cambiado los patrones de consumo energético de los hogares, en comparación con el invierno de 2019 y marzo de 2020. Aunque las emisiones nacionales de GEI pueden haber disminuido durante la pandemia de COVID-19 debido a los confinamientos, este estudio muestra que las emisiones de GEI debidas al uso residencial de energía han aumentado debido a una mayor demanda de energía de los hogares durante la pandemia. Observamos que estos resultados coinciden en gran medida con aquellos estimados a nivel residencial para 69 y 123 países en Le Quéré et al. [4] y Forster et al. [7] (que cubren el 97 % y >99 % de las emisiones globales de GEI, respectivamente). En ambos estudios, se estima que las tasas de crecimiento de las emisiones varían entre el 3 y el 20 %. Nuestros resultados caen dentro de este amplio rango. El aumento significativo del consumo eléctrico residencial (Tabla 5) también se detectó en Moreno et al. [15] para las cinco comunas de Santiago representativas de los diferentes niveles socioeconómicos, donde se observa un incremento de hasta un 17% en junio de 2020, respecto al mismo periodo de 2019.

Este estudio abre nuevas vías de análisis sobre los impactos de COVID-19 en las emisiones de GEI a nivel residencial, que representan una parte significativa de las emisiones nacionales. La disminución del uso de leña húmeda, el uso emergente de calefactores a pellets y la electrificación de los sistemas de calefacción observados durante la pandemia de 2020 en las cuatro ciudades de estudio pueden estar vinculados a los incentivos gubernamentales en vigor, como los planes de Prevención y/o Desconta-

minación Atmosférica (PPDA) que comenzaron en 2015, y el Programa 'Recambia tu calor' que se implementó en el invierno de 2020 en las diez comunas con más contaminación atmosférica de Chile, incluyendo Temuco y Osorno. Estos planes tienen como objetivo reducir la contaminación del aire mediante la reducción del uso de leña para la calefacción de espacios residenciales, pero queda por demostrar su eficacia a largo plazo y en tiempos de crisis sanitaria.

3.1. Investigación futura

Un análisis estadístico de los factores que influyen en las emisiones de GEI relacionadas con el uso de energía está más allá del alcance del estudio. Sin embargo, nuestros resultados estadísticos preliminares revelaron que variables independientes, como la ocupación del hogar, la superficie construida o el número de habitaciones (Tabla 2) no tienen significancia estadística en explicar las emisiones. Esto puede deberse a los comportamientos de los consumidores de energía en el área de estudio. Por ejemplo, las familias más grandes que viven en casas más grandes no necesariamente usan mayores cantidades de energía, ya que pueden calefaccionar solo algunas habitaciones de la casa. Otros factores, como la eficiencia térmica de las viviendas o las condiciones climáticas, como la temperatura, la humedad relativa, el viento y la radiación solar, pueden explicar de manera más significativa las emisiones de GEI relacionadas con el uso de energía de los hogares. En este sentido, el invierno ligeramente más frío en Coronel y Temuco en 2020 en comparación con 2019 (Tabla 1) puede ser responsable de parte del aumento del consumo de calefacción observado en 2020 (Tabla 5). Por el contrario, el invierno ligeramente más cálido

en Valdivia y Osorno en 2020 puede haber reducido levemente el consumo de energía.

Otro factor influyendo en las emisiones de GEI es la fluctuación de los precios de la energía. En realidad, el precio de la energía tiene un impacto directo sobre el consumo, así como sobre la elección de adoptar una energía u otra. El precio de la leña y la electricidad, los dos principales recursos energéticos de los hogares del estudio (Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6), se mantuvieron estables entre julio de 2019 y julio de 2020. En cuanto a la leña, el papel importante que desempeña dentro de las economías locales, por ser una fuente de energía presente en abundancia a nivel local, la convierte en la energía más económica y accesible en las ciudades de estudio. Es por ello que su demanda y oferta no se han visto afectadas durante la crisis del COVID-19. En el caso de la energía eléctrica, el esquema de mercado para consumidores residenciales basado en subastas, implementado en 2005 bajo la Ley N°20.018 (Ley Corta II), implica que los inversionistas de energía compitan por contratos de largo plazo, por lo que se asegura la estabilidad de precios. Durante el mismo periodo, entre julio 2019 y julio de 2020, el precio de otros combustibles como el pellet, el GLP y el gas natural han aumentado sus precios respectivamente un 6%, 12% y 5% de media en las ciudades de estudio, y el precio de la parafina disminuyó un 16%, según datos históricos por región de la Comisión Nacional de Energía (CNE) para combustibles hidrocarburos y electricidad [31, 32] y del Servicio Nacional de Clientes (SERNAC) para leña [33]. Si bien el aumento en el precio del pellet, GLP y gas natural puede haber limitado un mayor aumento de las emisiones de GEI, la reducción del precio de la parafina durante este periodo puede explicar el aumento en su consumo (Tabla 5). Por otra parte, el consumo de leña no aumentó tanto

como el de electricidad para calefacción (Tabla 5), a pesar de la estabilidad de los precios. Esta es una clara indicación de la preferencia de los hogares por los calefactores eléctricos, los cuales fueron utilizados principalmente como calefacción adicional, para satisfacer el aumento de la demanda. Esto también podría deberse a los incentivos estatales en vigor que fomentan el remplazo de estufas de leña por calentadores eléctricos, a una posible mayor conciencia ciudadana sobre los problemas de salud que surgen de la quema de leña, a la menor eficiencia térmica de las estufas de leña tradicionales en comparación con los calentadores eléctricos, o a una combinación de estos factores. La significancia de los diversos factores involucrados, incluido los cambios del precio de la energía, que influyen en los comportamientos y los consumos de energía de los hogares, debe investigarse estadísticamente en análisis futuros.

Más allá del impacto en las emisiones, la pandemia de COVID-19 también ha afectado la economía de los hogares. En efecto, el 59% de los hogares encuestados declararon haber sufrido una reducción de ingresos desde el inicio de la pandemia. Dichos datos son relevantes para analizar soluciones que compensen el peso económico de la crisis sanitaria sobre los hogares, correlacionado con la caída del consumo de energía de los comercios, edificios públicos y educativos, que cerraron total o parcialmente durante la pandemia. En cuanto al nivel socioeconómico de las familias, según un estudio de 2016 en ciudades del centro-sur de Chile [16], los gastos de los hogares en leña eran similares entre los diferentes grupos socioeconómicos -con excepción del grupo más rico pero minoritario-, confirmando diferentes impactos del precio de la energía en la economía de los hogares y la importancia de abordar la pobreza energética. Este

fenómeno debe investigarse más a fondo teniendo en cuenta la amplia gama de factores socioeconómicos y las formas en que la pandemia ha afectado las prácticas cotidianas, a fin de revelar el panorama más amplio y diseñar mejores y actualizados marcos de políticas públicas.

3.2. Consideraciones finales

La pandemia del COVID-19 tiene implicaciones ambientales, pero las oportunidades que surgen para implementar medidas de cambio de prácticas y mejorar la sostenibilidad de las ciudades son igualmente importantes. Dado que la mayoría de las viviendas chilenas carecen de un nivel adecuado de aislamiento térmico y hermeticidad al aire [34], mejorar su eficiencia térmica podría reducir significativamente el uso de energía y las emisiones de GEI resultantes [35], y al mismo tiempo disminuir los niveles de contaminación del aire en aquellas ciudades donde la leña es la principal fuente de energía para calefacción y cocina. La mejora de la eficiencia térmica de las viviendas podría lograrse, en primer lugar, mediante la implementación de estándares regulatorios más estrictos y de certificación energética para nuevas construcciones y para la rehabilitación de viviendas existentes. Al mismo tiempo, se deben realizar esfuerzos para promover la formación y capacitación de profesionales especializados en los sectores de la construcción y de la rehabilitación, así como desarrollar industrias nacionales capaces de ofrecer soluciones técnicas asequibles. En segundo lugar, existe una clara necesidad de cambiar los sistemas energéticos que usan combustibles fósiles a equipos eléctricos eficientes para producción de calefacción y agua caliente sanitaria, como las bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas de baja entalpía. Esto incluye la provisión de incentivos económicos para promover la adopción de dichos sistemas

y, especialmente, la sustitución de chimeneas abiertas y estufas de leña antiguas por sistemas de calefacción de alta eficiencia. Luego, una vez se alcancen altos niveles de eficiencia energética y electrificación, el siguiente paso es descarbonizar la red eléctrica, reemplazando las centrales eléctricas de combustibles fósiles por otras bajas en carbono, como las centrales solares, eólicas, mareomotrices o geotérmicas de alta entalpía, ya que el país posee un inmenso potencial para todas ellas. Cabe mencionar que la implementación de estas medidas podría crear numerosos nuevos puestos de trabajo, como lo demuestran Scott et al. [36], Wei et al. [37], Garrett-Peltier [38] y Nasirov et al. [39].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Lucchese M, Pianta M.** *The coming coronavirus crisis: what can we learn?* Inter Econ. 2020;55:98–104.
- [2] **Wang Q, Han X.** *Spillover effects of the United States economic slowdown induced by COVID-19 pandemic on energy, economy, and environment in other countries.* Environ Res. 2021;196:110936.
- [3] **Wang Q, Zhang F.** *What does the China's economic recovery after COVID-19 pandemic mean for the economic growth and energy consumption of other countries?.* J Clean Prod 2021;295:126265.
- [4] **Le Quéré C, Jackson RB, Jones MW, et al.** *Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement.* Nat Clim Change. 2020;10:647–653.
- [5] **Liu Z, Ciais P, Deng Z, et al.** *Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic.* Nat Commun. 2020;11:5172.
- [6] **EIA. Short-Term Energy Outlook.** Washington, DC: U.S. Energy Information Administration; 2021.
- [7] **Forster PM, Forster HI, Evans MJ, et al.** *Current and future global climate impacts resulting from COVID-19.* Nat Clim Change. 2020;10(10):913-919.
- [8] **Carbon Brief.** *Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter.* [Internet]. 17 de febrero 2020. Disponible: <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter>
- [9] **Rugani B, Caro D.** *Impact of COVID-19 outbreak measures of lockdown on the Italian Carbon Footprint.* Sci Total Environ. 2020;737:139806.
- [10] **Han P, Cai Q, Oda T, Zeng N, Shan Y, Lin X, Liu D.** *Assessing the recent impact of COVID-19 on carbon emissions from China using domestic economic data.* Sci Total Environ. 2021;750:141688.
- [11] **Wang Q, Li S, Li R, Jiang F.** *Underestimated impact of the COVID-19 on carbon emission reduction in developing countries—A novel assessment based on scenario analysis.* Environ Res. 2022;204:111990.
- [12] **Carbon Brief.** *Global Carbon Project: Coronavirus causes 'record fall' in fossil-fuel emissions in 2020.* [Internet]. 11 de diciembre 2020. Disponible: <https://www.carbonbrief.org/global-carbon-project-coronavirus-causes-record-fall-in-fossil-fuel-emissions-in-2020>
- [13] **Andreoni V.** *Estimating the European CO2 emissions change due to COVID-19 restrictions.* Sci Total Environ. 2021;769:145115.
- [14] **Howarth C, Bryant P, Corner A, et al.** *Building a Social Mandate for Climate Action: Lessons from COVID-19.* Environ Resource Econ. 2020;76:1107–1115.
- [15] **Moreno R, Sánchez M, Suazo C, et al.** *Impactos del COVID-19 en el Consumo Eléctrico Chileno.* Revista Ingeniería de Sistemas. 2020;34:119-146.
- [16] **Schueftan A, Sommerhoff J, González AD.** **Bosques energía sociedad no5.** *Demanda de leña y políticas de energía en el centro-sur de Chile.* Santiago: Instituto Forestal; 2016. (BES n°5, Año 2; 0719-7136).
- [17] **CR2.** *Explorador Climático.* [Internet]. Santiago: Centro del Ciencia del Clima y Resiliencia (CR)2; 2021. Disponible: <https://explorador.cr2.cl/>
- [18] **Dubois G, Sovacool B, Aall C, et al.** *It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures.* Energy Res Soc Sci. 2019;52:144–158.
- [19] **Muñiz I, Rojas C.** *Urban form and spatial structure as determinants of per capita greenhouse gas emissions considering possible endogeneity and compensation behaviors.* Environ Impact Assess Rev. 2019;76:79–87.
- [20] **Gómez DR, Watterson JD, Americano BB, et al.** *Chapter 2: Stationary Combustion.* In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, et al., editors. Volume 2: Energy of 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program. Hayama: IGES; 2006. p. 22.
- [21] **Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, et al.** *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.* In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al., editors. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK and New York (NY): Cambridge University Press; 2007. p. 212.
- [22] **Johnson E.** *Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right.* Environ Impact Assess Rev. 2009;29(3):165-168.
- [23] **Masera O, Fuentes G.** *Introducción.* In Masera O, editor. *La bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable.* México: Comisión Nacional Forestal & Mundi-Prensa; 2006.
- [24] **Ghilardi A, Guerrero G, Masera O.** *Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach.* Biomass Bioenergy. 2007;31(7):475-491.
- [25] **Smith KR, Uma R, Kishore VVN, et al.** *Greenhouse gases from small-scale combustion devices in developing countries, Phase IIa: Household Stoves in India.* Durham: U.S. Environmental Protection Agency; 2000. (EPA/600/R-00-052).
- [26] **Saesa:** *Tarifas de Suministro Eléctrico - desde diciembre de 2019* [Internet]. Santiago: Saesa; 2020. Disponible: <https://www.gruposoesa.cl/distribuidoras/descargar-archivos/4599/>
- [27] **CGE (Compañía General de Electricidad):** *Tarifas de Servicios No Consistentes en Suministro de Energía - 1 de septiembre de 2020.* [Internet]. Santiago: CGE; 2020. Disponible: <https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2020/11/Tarifas-Servicios-CGE-Diciembre-2020.pdf>
- [28] **CNE (Comisión Nacional de Energía):** *Factores de Emisión SEN* [Internet]. Santiago: Comisión Nacional de Energía - Energía Abierta; 2020. Disponible:

<http://energiabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>

- [29] **Simon F.** *Energy and sustainability in Chile: simulation modelling of low-carbon technologies and energy in buildings [dissertation]*. Granada, Universidad de Granada; 2017.
- [30] **In-Data SpA, CDT.** *Usos de energía de los hogares de Chile 2018*. Informe Final. Santiago: Ministerio de Energía; 2018.
- [31] **CNE (Comisión Nacional de Energía): Estadísticas Hidrocarburos** [National Energy Commission: Hydrocarbons Statistics] [Internet]. Santiago: Comisión Nacional de Energía; 2021a [cited 2022 Jan 10]. Spanish. Available from: <https://www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo/>
- [32] **CNE (Comisión Nacional de Energía): Tarificación Eléctrica** [National Energy Commission: Electricity Tarification] [Internet]. Santiago: Comisión Nacional de Energía; 2021b [cited 2022 Jan 10]. Spanish. Available from: <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/>
- [33] **SERNAC (Servicio Nacional del Consumidor): Precios leña seca** [National Service of Customers: Dry Wood prices] [Internet]. Santiago: Servicio Nacional del Consumidor; 2021 [cited 2022 Jan 10]. Spanish. Available from: <https://www.sernac.cl/portal/619/w3-propertyvalue-61528.html>
- [34] **Jorquera H, Barraza F, Heyer J, et al.** *Indoor PM2.5 in an urban zone with heavy wood smoke pollution: The case of Temuco, Chile*. Environ Pollut. 2018;236:477–487.
- [35] **Simon F, Ordoñez J, Girard A, et al.** *Modelling energy use in residential buildings: How design decisions influence final energy performance in various Chilean climates*. Indoor Built Environ. 2019;28(4):533–551.
- [36] **Scott MJ, Roop JM, Schultz RW, et al.** *The impact of DOE building technology energy efficiency programs on US employment, income, and investment*. Energy Econ. 2008;30(5):2.283-2.301.
- [37] **Wei M, Patadia S, Kammen DM.** *Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?* Energy Policy. 2010;38(2):919-931.
- [38] **Garrett-Peltier H.** *Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model*. Econ Model. 2017;61:439-447.
- [39] **Nasirov S, Girard A, Peña C, et al.** *Expansion of renewable energy in Chile: Analysis of the effects on employment*. Energy. 2021;226:120410.



SÍNTESIS DE INVESTIGACIÓN